



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK



MOBIL LISTRIK

DENGAN BATERAI LITHIUM-ION

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

MOBIL LISTRIK

DENGAN BATERAI LITHIUM-ION

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM



ASAN PRIMA AGUS TEKNIK

PENERBIT :

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

JL. Majapahit No. 605 Semarang

Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144

Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

MOBIL LISTRIK, DENGAN BATERAI LITHIUM-ION

Penulis :

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom., M.Si., MM.

ISBN : 9 786236 141762

Editor :

Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom., M.Kom.

Penyunting :

Dr. Mars Caroline Wibowo. S.T., M.Mm.Tech

Desain Sampul dan Tata Letak :

Irdha Yudianto

Penebit :

Yayasan Prima Agus Teknik Bekerja sama dengan
Universitas Sains & Teknologi Komputer (Universitas STEKOM)

Redaksi :

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

Distributor Tunggal :

Universitas STEKOM

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : info@stekom.ac.id

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin dari penulis

KATA PENGANTAR

Mobil Listrik memecahkan banyak masalah dengan cepat. Mobil listrik lebih hemat energi jika dibandingkan dengan mobil tradisional yang memerlukan BBM (Bahan Bakar Minyak). Mobil listrik memang membutuhkan biaya untuk mengisi daya, namun mobil listrik tidak membuat udara tercemar dengan asap yang sumbernya dari knalpot. Proses pengisian baterai pada mobil listrik bisa didapat dari listrik PLN di rumah, juga dari pembangkit listrik solar cell dari matahari, ataupun dari pembangkit listrik tenaga angin maupun tenaga air. Oleh sebab itu, mobil listrik di Indonesia harus dikembangkan di Indonesia, agar tingkat pencemaran udara di Indonesia dapat ditekan, dan lingkungan kita jadi sehat dan bersih.

Buku ini berisi cara untuk mengubah mobil berbahan bakar BBM menjadi mobil listrik. Saya merasa bahwa masyarakat Indonesia tidak dapat serta merta mengganti mobil berbahan bakar BBM dengan mobil listrik, karena ada 2 (dua) alasan yang kuat, yaitu (1) Mobil listrik harganya relative lebih mahal jika dibandingkan dengan mobil konvensional berbahan bakar BBM, (2) Masyarakat Indonesia tidak rela jika mobilnya jadi barang rongsokan. Oleh sebab itu buku ini hadir, untuk menciptakan peluang bisnis baru, terutama dalam bisnis perbengkelan yang dapat mengubah mobil berbahan bakar BBM, menjadi mobil listrik.

Buku ini mengupas secara mendetail, cara dan langkah-langkah apa yang diperlukan untuk mengubah mobil berbahan bakar BBM, menjadi mobil listrik yang ramah lingkungan dan lebih hemat dalam energi. Harapannya setelah membaca buku ini, para mahasiswa dan para pembaca lainnya dapat tumbuh semangatnya untuk berwirausaha dengan membuka bengkel mobil listrik, yang akan menjadi terobosan baru dalam berbisnis, terlebih jika para mahasiswa tersebut mau memasarkan bengkel mobil listriknya lewat media sosial dengan menunjukkan foto hasil karyanya secara online. Mudah-mudahan buku ini dapat membangun semangat berwirausaha generasi muda Indonesia menjadi technopreneur sejati.

Semarang, 14 Agustus 2021

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
Halaman Judul.....	iii
Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi.....	v
BAB I MENGAPA MEMILIH MOBIL LISTRIK.....	1
1.1 Mengubah Mobil	3
1.2 Apakah Mobil Listrik itu?	9
1.3 Sudahkah Kita Mengendarai Mobil Listrik?	12
1.4 Keselamatan Pertama.....	16
1.5 Mitos Kendaraan Listrik	19
1.6 Kekurangan Mobil Listrik	22
1.7 Kekuatan Mobil Listrik	23
BAB II MOBIL LISTRIK RAMAH LINGKUNGAN DAN HEMAT ENERGI	25
2.1 Mengapa Kendaraan Listrik Ramah Lingkungan?.....	25
2.2 Mengapa Mobil Listrik Menghemat Energi dan Uang?	26
2.3 Mobil Non Listrik Sumber Polusi Limbah Padat Beracun	30
2.4 Utilitas Listrik Mobil Listrik	32
2.5 Kesimpulan.....	33
BAB III SEJARAH MOTOR LISTRIK	36
3.1 Sejarah Mobil.....	37
3.2 Sejarah Mobil Listrik	38
3.3 Mobil Listrik Abad 21	84
BAB IV KENDARAAN LISTRIK IMPIAN KITA.....	93

4.1 Keputusan Membelian Kendaraan Listrik.....	93
4.2 Keputusan Konversi Kendaraan Listrik	105
BAB V CHASSIS DAN DESAIN	115
5.1 Memilih Chassis Terbaik untuk Mobil Listrik.....	115
5.2 Cara Mengoptimalkan Mobil Listrik.....	116
5.3 Aturan-Aturan dan Rumus.....	117
BAB VI MOBIL LISTRIK	161
6.1 Mengapa Motor Listrik?	161
6.2 Daya kuda (HorsePower = HP).....	162
6.3 Motor Listrik DC.....	163
6.4 Motor Listrik AC	180
6.5 Solusi Motor Listrik Terbaik Hari Ini.....	186
BAB VII PENGONTROL MOBIL LISTRIK	193
7.1 Manfaat Pengontrol Pada Mobil Listrik.....	193
7.2 Jenis Pengontrol Pada Mobil Listrik.....	194
7.3 Solusi Pengontrol Terbaik Hari Ini.....	204
7.4 Pengendali Mobil Listrik Menghilangkan Semua Mitos	208
7.5 Kesimpulan.....	214
BAB VIII BATERAI	215
8.1 Ikhtisar Baterai.....	215
8.2 Didalam Baterai Anda	216
8.3 Diluar Baterai Anda.....	222
8.4 Baterai Timbal-asam	231
8.5 Solusi Baterai Terbaik Hari Ini.....	239
BAB IX PENGISI DAYA DAN SISTEM KELISTRIKAN	252
9.1 Ikhtisar Pengisi Daya	252

9.2 Siklus Pengosongan dan Pengisian Baterai.....	253
9.3 Solusi Pengisian Baterai Lainnya.....	263
9.4 Sistem Kelistrikan Mobil Listrik.....	265
BAB X MENGUBAH MOBIL LISTRIK	279
10.1 Seputar Perubahan.....	279
10.2 Sebelum Diubah.....	281
10.3 Perubahan	283
10.4 Chassis.....	284
10.5 Mekanik	289
10.6 Listrik.....	296
10.7 Baterai.....	305
10.8 Setelah Perubahan	306
10.9 Tempatkan Diri Anda dalam Gambar	310
BAB XI MEMAKSIMALKAN MOBIL LISTRIK	312
11.1 Seputar Perizinan dan Asuransi	312
11.2 Seputar Mengendarai dan Merawat Mobil Listrik	314
BAB XII MOBIL LISTRIK DI INDONESIA.....	320
12.1 Peraturan Mobil Listrik Di Indonesia	320
12.2 Produsen Mobil Listrik Di Indonesia	321
12.3 Spesifikasi Teknis dan Dimensi Mobil Listrik di Indonesia.....	325
DAFTAR PUSTAKA	326

BAB I

MENGAPA MEMILIH MOBIL LISTRIK?

*"Apa yang diinginkan dan benar tidak pernah mustahil."
—Henry Ford (tertulis pada plakat di Ford Fairlane Mansion)*

Mengapa orang harus membeli, mengubah, atau membangun kendaraan listrik hari ini? Sederhananya, mobil listrik adalah bentuk transportasi yang paling bersih, paling efisien, dan paling hemat biaya—dan sangat menyenangkan untuk dikendarai. Ketika saya bekerja untuk negara bagian New York, kami selalu mengatakan bahwa mobil listrik hampir bebas perawatan: mereka tidak pernah memerlukan penggantian oli, busi baru, atau perbaikan rutin lainnya. Ketika seseorang akan berkata, "Benarkah?" Saya kemudian akan berkata, "Yah, tidak cukup, Anda perlu mengganti cairan washer untuk kaca depan."

Kendaraan listrik sangat mudah beradaptasi dan merupakan bagian dari masyarakat sehari-hari: Mobil listrik ditemukan di puncak gunung (trem kereta api, kereta gantung), di dasar laut (kapal selam, penjelajah Titanic), di bulan (Lunar Rover), di gedung-gedung tinggi (lift), di kota-kota (kereta bawah tanah, kereta api ringan, bus, kendaraan pengiriman), mengangkut angkutan kereta api berat atau memindahkan penumpang kereta api dengan cepat (koridor Pennsylvania Railroad Washington ke New York). Apakah mereka semua kendaraan listrik? Iya. Apakah mereka berjalan di atas rel atau di poros atau di tambatan atau dengan baterai yang tidak dapat diisi ulang? Iya.

Kendaraan Listrik dirancang untuk melakukan apa pun yang diinginkan di masa lalu dan dapat dirancang dan disempurnakan untuk melakukan apa pun yang diperlukan di masa depan. Apa yang Anda butuhkan untuk menjadi Motor Listrik: besar, kecil, kuat, cepat, sangat efisien? Desain untuk memenuhi kebutuhan itu. Motor Listrik adalah contoh yang sangat baik tentang apa yang dapat dilakukan ketika memulai dengan selembar kertas bersih. Subjek dalam buku ini, apakah Anda menginginkan, pikap, atau van? Kamu yang akan memutuskan.

Ketika perusahaan mobil terus memproduksi kendaraan sport (SUV) yang tidak dapat memenuhi standar bahan bakar federal atau mengurangi emisi yang berbahaya bagi lingkungan kita, pikirkan beberapa statistik dan fakta dari Departemen Energi AS (USDOE) dan berbagai sumber penting: USDOE menyatakan bahwa lebih dari setengah minyak yang kita gunakan setiap hari diimpor. Tingkat ketergantungan pada impor ini (55 persen) merupakan yang tertinggi dalam sejarah kita. USDOE bahkan lebih lanjut mengatakan bahwa ketergantungan pada minyak asing ini akan meningkat karena kita menggunakan sumber daya dalam negeri. Juga, sebagai masalah keamanan nasional, kita semua harus memperhatikan bahwa sebagian besar cadangan minyak

dunia terkonsentrasi di Timur Tengah (65 hingga 75 persen), dan dikendalikan oleh anggota kartel minyak OPEC.

(www.fueleconomy.gov/feg/oildep.shtml).

Selanjutnya, USDOE melanjutkan dengan menyatakan bahwa 133 juta orang Amerika tinggal di daerah yang gagal setidaknya satu Standar Kualitas Udara Ambient Nasional. Kendaraan transportasi menghasilkan 25 hingga 75% bahan kimia utama yang mencemari udara, menyebabkan kabut asap dan masalah kesehatan. Semua mobil baru harus memenuhi standar emisi federal. Tetapi seiring bertambahnya usia kendaraan, jumlah polusi yang mereka hasilkan meningkat.

Selain itu, hanya sekitar 15% energi bahan bakar yang Anda masukkan ke tangki bensin yang digunakan untuk menggerakkan mobil Anda di jalan atau menjalankan aksesoris yang berguna seperti AC atau power steering. Sisa energi hilang. Jelas potensi untuk meningkatkan penghematan bahan bakar dengan teknologi canggih sangat besar.

Berikut adalah beberapa alasannya.

1. Meskipun mereka hanya pada tahap yang relatif embrio dalam hal penetrasi pasar, mobil listrik merupakan bahan bakar kendaraan yang paling ramah lingkungan, karena mereka sama sekali tidak memiliki emisi
(www.greenconsumerguide.com/governmentll.php?CLASSIFICATION=114&PARENT=110). Energi yang dihasilkan untuk menyalakan motor listrik dan energi untuk menggerakkan kendaraan adalah 97% lebih bersih dalam hal polutan berbahaya.
2. Keuntungan lain dari motor listrik adalah kemampuannya memberikan tenaga pada hampir semua putaran mesin. Sedangkan hanya sekitar 20% energi kimia dalam bensin yang diubah menjadi kerja yang berguna di roda kendaraan pembakaran internal, 75% atau lebih energi dari baterai mencapai rodanya.
3. Salah satu argumen besar yang dibuat oleh perusahaan mobil terhadap mobil listrik adalah bahwa motor listrik ditenagai oleh pembangkit listrik, yang terutama ditenagai oleh batu bara. Kurang dari 2% listrik AS dihasilkan dari minyak, jadi menggunakan listrik sebagai bahan bakar transportasi akan sangat mengurangi ketergantungan pada minyak impor.
(www.alt-e.blogspot.com/2005/01/alternative-fuel-cars-plug-in-hibrida.html).
4. Bahkan dengan asumsi bahwa listrik untuk menyalakan Motor listrik tidak dihasilkan dari solar atau gas alam (asumsikan itu berasal 100% dari batu bara), itu masih jauh lebih bersih daripada bensin yang dihasilkan dari minyak bumi.
(www.drivingthefuture.com/97pct.html)
5. Pembangkit listrik adalah sumber stasioner yang dapat dimodifikasi dari waktu ke waktu menjadi lebih bersih.

Kekhawatiran utama yang dihadapi industri kendaraan listrik adalah jangkauan, kecepatan tertinggi, dan biaya. Pada akhirnya, baterai lah yang akan menentukan biaya dan kinerja Motor

listrik. Satu-satunya cara kendaraan listrik akan membuat perbedaan besar dalam kehidupan orang-orang adalah jika mereka dapat melakukan semua yang dapat dilakukan mobil bensin dan banyak lagi. Mereka harus terlihat hebat (hampir menjadi perpanjangan tangan orang yang membeli mobil), dan mereka harus aman.

Konversi menggunakan kerangka yang disetujui saat ini dan telah berlangsung selama bertahun-tahun dengan mobil berbahan bakar bensin menggunakan mesin dan motor berbasis kinerja. Dengan pengontrol (pada dasarnya, mesin) mencapai 1.000 hingga 2.000 amp, baterai mobil kelas atas, dan bobot ringan dari sasis Porsche 911, mobil listrik dapat memberikan kinerja yang terhormat. Mereka menyenangkan untuk dikendarai, hampir senyap, dan meluncur dengan sangat mudah saat Anda melepaskan pedal akselerator.

(www.worldclassexotics.com/Electricarconv.htm).

Dengan kata lain, Anda dapat mengubah Porsche 911 tua untuk melaju lebih dari 100 mph dengan jangkauan 50 mil menggunakan baterai timbal-asam saja. Dengan teknologi lithium ion Anda bisa membuat mobil melaju 180–200 mil dan biayanya masih lebih murah daripada beberapa SUV baru di pasaran.

Dalam upaya menggerakkan pasar ke arah mobil listrik, beberapa orang mencoba alternatif lain, antara lain:

- Mengemudi mobil hidrogen/sel bahan bakar.
- Mengonversi mobil hibrida menjadi hibrida yang terhubung ke jaringan atau plug-in.
- Berbondong-bondong membeli mobil listrik hibrida.
- Membeli kendaraan listrik berkecepatan rendah, seperti mobil GEM.
- Mengemudikan mobil listrik buatan perusahaan mobil yang tersisa, seperti EV1 atau Toyota RAV4 Motor listrik atau TH!NK City (diproduksi bersama Ford Motor Company).

Cepat atau lambat, kita akan sampai ke mobil listrik oleh perusahaan mobil. Apakah itu terjadi dalam hidup saya bukanlah pertanyaannya. Maksud saya adalah Anda bisa mendapatkan kendaraan listrik hari ini. Anda juga dapat mengambil kendaraan apa pun yang Anda inginkan dan mengubahnya menjadi kendaraan listrik. Kami juga dapat mendorong orang yang memperbaikinya di jalan untuk membantu kami dengan konversi kami sehingga lebih banyak mekanik di seluruh negeri yang membangun mobil listrik.

1.1 Mengubah Mobil

Kendaraan listrik tidak sulit dibuat dan mudah diubah. Ada begitu banyak alasan untuk meyakinkan Anda tentang perlunya menggunakan listrik:

- Biaya satu galon gas
- Tingkat asma yang lebih tinggi
- Kebutuhan kita untuk mengurangi ketergantungan kita pada minyak impor

- Prospek memiliki mobil yang hemat biaya, menyenangkan, dan tahan lama daripada kebanyakan mobil di jalan hari ini.

Sekali lagi: Bagaimana dengan fakta bahwa Anda dapat mengonversi kendaraan listrik hari ini? Sekarang juga! Dan biayanya akan lebih murah daripada beberapa mobil baru di pasaran. Ada begitu banyak acara televisi yang menunjukkan orang-orang menipu mobil mereka, menambahkan mesin yang lebih baik, atau melakukan apa saja untuk membuatnya melaju cepat dan aman. Konversi kendaraan listrik melakukan semua itu dan banyak lagi. Mereka memungkinkan generasi berikutnya memiliki dunia yang lebih aman tanpa bergantung pada sumber minyak asing sambil memberi anak-anak kita mobil yang benar-benar bersih dan keren untuk dikendarai.

Dalam istilah yang sangat praktis, konversi kendaraan listrik pikap Porsche 2001 dan Ford Ranger 1993 yang ditunjukkan pada Gambar 1.1 dan 1.2 (yang akan Anda pelajari cara mengubahnya di Bab 11) melaju 75 mph, mencapai 60 mil (atau lebih baik). Dengan pengisian daya, menggunakan baterai timbal-asam konvensional dan komponen siap pakai, dan dapat disatukan oleh hampir semua orang. Baterainya berharga sekitar Rp 33.000.000 dan bertahan sekitar tiga tahun, suku cadang konversinya berharga sekitar Rp 82.500.000 hingga Rp 105.000.000, dan biayanya Rp 18.750 untuk mengisi ulang, atau "mengisi bahan bakar." Dalam istilah New York, itu kurang dari tanda di kereta bawah tanah. Juga, biaya perawatan dapat diabaikan dibandingkan dengan penggantian oli, perbaikan radiator, dan semua biaya perawatan tambahan lainnya dari versi mesin pembakaran internal.

Dalam bab ini Anda akan mempelajari apa itu kendaraan listrik, dan menjelajahi perubahan kesadaran yang bertanggung jawab atas meningkatnya minat di sekitarnya. Anda akan menemukan kebenaran dan ketidakbenaran di balik mitos kendaraan listrik. Anda juga akan belajar tentang keunggulan mobil listrik, dan mengapa manfaatnya—dibantu oleh peningkatan teknologi—akan terus meningkat di masa mendatang.

Untuk benar-benar menghargai mobil listrik, yang terbaik adalah memulai dengan melihat kendaraan bermesin pembakaran dalam. Perbedaan antara keduanya adalah studi yang kontras.

Ketertarikan manusia yang berkelanjutan dengan kendaraan mesin pembakaran internal adalah sebuah teka-teki. Mesin pembakaran internal adalah perangkat yang secara inheren mencoba menghancurkan dirinya sendiri: banyak ledakan mendorong pistonnya ke atas dan ke bawah untuk memutar poros. Sebuah poros yang berputar pada 6.000 putaran/menit menghasilkan 100 ledakan setiap detik. Ledakan ini pada gilirannya membutuhkan kapal besar untuk menampungnya — biasanya blok silinder besi.



Gambar 1.1: Sebuah Porsche listrik dikonversi.



Gambar 1.2 Ford Ranger listrik yang dikonversi

Sistem tambahan diperlukan:

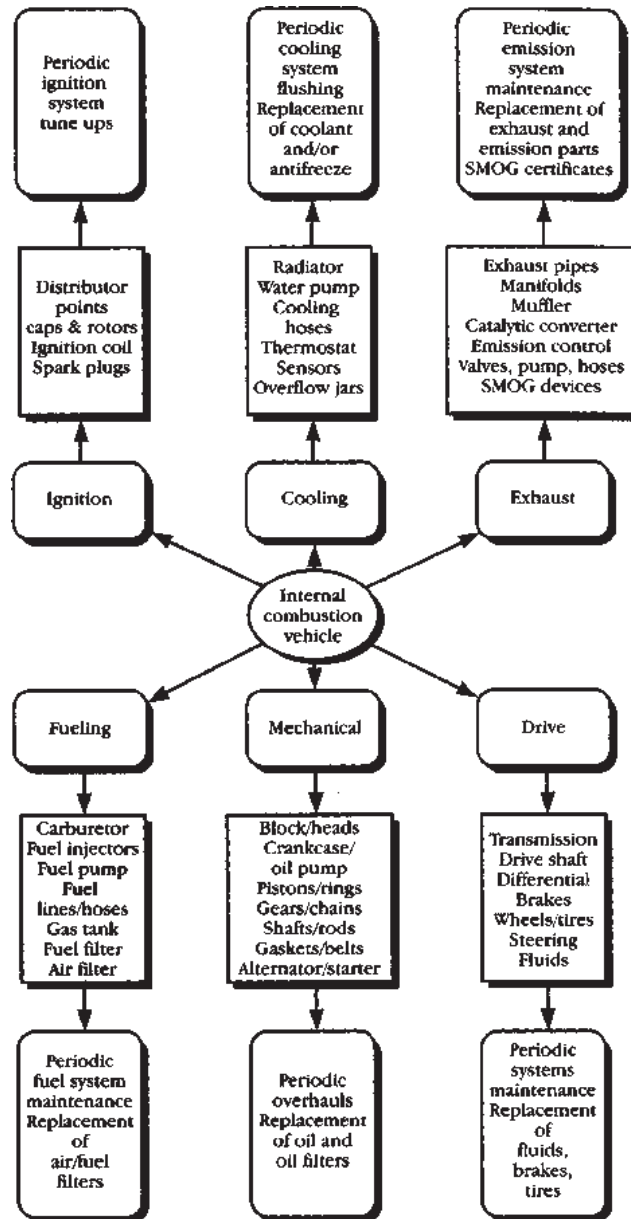
- Sistem pendingin untuk menjaga suhu dalam kisaran operasi yang aman.
- Sistem pembuangan untuk mengeluarkan produk knalpot yang dipanaskan dengan aman.
- Sistem pengapian untuk memulai pembakaran pada saat yang tepat.
- Sistem pengisian bahan bakar untuk memperkenalkan campuran udara dan gas yang tepat untuk pembakaran.
- Sistem pelumasan untuk mengurangi keausan pada komponen yang bergerak cepat dan bersuhu tinggi.
- Sistem awal untuk menjalankan seluruh siklus.

Ini mungkin sangat rumit untuk menjaga semua sistem ini saling berkesinambungan. Kompleksitas ini berarti lebih banyak hal bisa salah (perbaikan lebih sering dan biaya

perbaikan lebih tinggi). Gambar 1.3 merangkum sistem kendaraan mesin pembakaran internal.

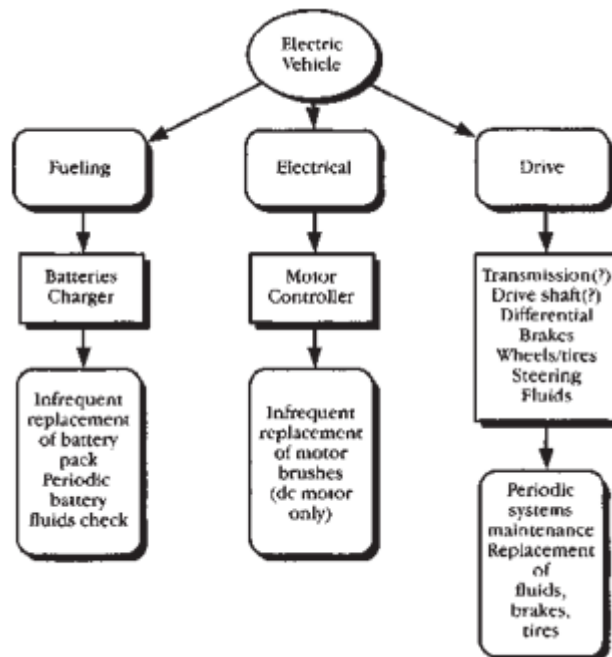
Sayangnya, warisan rusaknya kendaraan mesin pembakaran internal tidak berhenti begitu saja. Mesin pembakaran internal adalah varian dari proses pembakaran generik. Untuk menyalakan korek api, Anda menggunakan oksigen (O_2) dari udara untuk membakar bahan bakar berbasis karbon (kayu atau batang korek api karton), menghasilkan karbon dioksida (CO_2), mengeluarkan gas limbah beracun (Anda dapat melihat asap dan mungkin mencium bau belerang), dan meninggalkan limbah padat (batang korek api). Volume udara di sekitar Anda jauh lebih besar daripada yang dikonsumsi oleh korek api; arus udara segera menghilangkan asap dan bau, dan Anda melemparkan batang korek api.

Mesin pembakaran internal saat ini lebih berkembang dari sebelumnya. Namun, kami masih memiliki proses pembakaran berbasis karbon yang menciptakan panas dan polusi. Segala sesuatu tentang mesin pembakaran internal beracun, dan masih merupakan salah satu perangkat mekanis paling tidak efisien di planet ini. Tidak seperti menyalakan satu korek api, penggunaan ratusan juta (segera menjadi miliaran) kendaraan mesin pembakaran internal mengancam untuk menghancurkan semua kehidupan di bumi kita. Anda akan membaca tentang masalah lingkungan yang disebabkan oleh kendaraan bermesin pembakaran dalam di Bab 2.



Gambar 1.3 Sistem mesin pembakaran dalam.

Sementara mesin pembakaran internal memiliki ratusan bagian yang bergerak, motor listrik hanya memiliki satu. Itulah salah satu alasan utama mengapa mobil listrik sangat efisien. Untuk membuat kendaraan listrik dari mobil, pikap, atau van yang Anda kendari sekarang, yang perlu Anda lakukan hanyalah mengeluarkan mesin pembakaran internal bersama dengan semua bagian sistem pengapian, pendinginan, pengisian bahan bakar, dan pembuangan, dan menambahkan listrik motor, baterai, dan pengontrol. Hei, tidak ada yang lebih sederhana dari ini.



Gambar 1.4 Sistem kendaraan listrik.

Gambar 1.4 menunjukkan semua yang ada padanya: Baterai dan pengisi daya adalah sistem "pengisian bahan bakar" Anda, motor listrik dan pengontrol adalah sistem "listrik" Anda, dan sistem "penggerak"

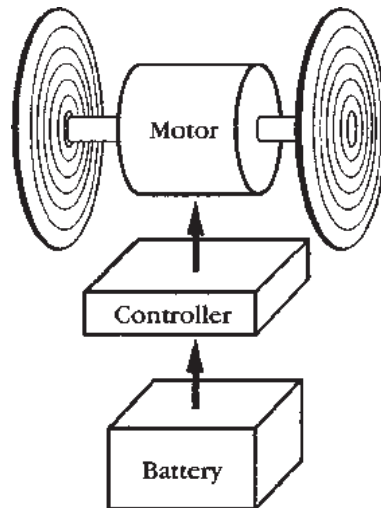
Diagram sederhana kendaraan listrik terlihat seperti diagram sederhana alat cukur listrik portabel: baterai, motor, dan pengontrol atau sakelar yang mengatur aliran listrik ke motor untuk mengontrol kecepatannya. Tidak ada yang keluar dari peralatan listrik dan tidak ada yang keluar dari mobil listrik Anda. Motor listrik sederhana (oleh karena itu sangat andal), memiliki masa pakai yang diukur dalam jutaan mil, tidak memerlukan perawatan berkala (filter, dll.), dan biaya pengoperasian per mil jauh lebih rendah. Mereka juga sangat fleksibel, menggunakan energi listrik yang tersedia di mana saja sebagai bahan bakar input.

Selain semua manfaat ini, jika Anda membeli, membangun, atau mengubah kendaraan listrik Anda dari kendaraan bermesin pembakaran internal seperti yang disarankan dalam buku ini, Anda melakukan layanan ganda untuk lingkungan: Anda menyingkirkan satu mobil berpolusi dari jalan dan menambahkan satu kendaraan listrik tidak berpolusi untuk digunakan.

Anda telah melakukan tur singkat dan perbandingan antara kendaraan listrik dan kendaraan mesin pembakaran dalam. Sekarang mari kita lihat lebih dekat kendaraan listrik.

1.2 Apakah Mobil Listrik itu?

Kendaraan listrik terdiri dari baterai yang menyediakan energi, motor listrik yang menggerakkan roda, dan pengontrol yang mengatur aliran energi ke motor. Gambar 1.5 menunjukkan semua yang ada tetapi jangan tertipu oleh kesederhanaannya. Para ilmuwan, insinyur, dan penemu selama berabad-abad selalu berkata, "Dalam kesederhanaan ada kemewahannya." Mari kita cari tahu kenapa konsep kendaraan listriknya istimewa dan menjanjikan.



Gambar 1.5 Diagram blok sederhana kendaraan listrik.

1.2.1 Motor Listrik

Motor listrik dapat ditemukan dalam berbagai ukuran dan tempat, dan memiliki banyak kegunaan yang bervariasi, sehingga kita cenderung menganggapnya biasa saja. Universal dalam aplikasi, mereka bisa sebesar rumah atau lebih kecil dari kuku Anda, dan dapat ditenagai oleh sumber listrik apa pun. Faktanya, mereka sangat andal, tenang, dan murah sehingga kita cenderung mengabaikan betapa luas dan berpengaruhnya mereka dalam kehidupan sehari-hari.

Masing-masing dari kita menemukan lusinan, bahkan ratusan, motor listrik setiap hari tanpa memikirkannya: Jam alarm yang membangunkan Anda; televisi yang Anda nyalakan untuk berita; Anda mengeluarkan biji kopi dari lemari es dan memasukkan biji kopi ke dalam penggiling; di kamar mandi Anda menggunakan alat cukur listrik, sikat gigi listrik, atau pengering rambut; sarapan mungkin dibantu oleh juicer listrik, blender, atau mixer makanan Anda; Anda dapat membersihkan rumah dengan penyedot debu atau membersihkan pakaian dengan mesin cuci dan pengering; selanjutnya Anda naik mobil, kereta bawah tanah, bus, atau angkutan kereta api ringan untuk berkendara ke tempat kerja, di mana Anda mungkin melewati gerbang atau pintu otomatis atau naik lift atau eskalator ke lantai Anda; di rumah atau di tempat kerja Anda duduk di depan komputer, menggunakan Internet, email, ponsel, atau Blackberry, dan menggunakan faks atau mesin fotokopi setelah Anda mengatur

kipas, pemanas, atau AC. Kembali ke rumah di malam hari, Anda dapat menggunakan pembuka pintu garasi listrik, memprogram TiVO Anda, atau menggunakan alat listrik pada sebuah proyek. secara terus menerus, Anda mendapatkan gambarannya.

Mengapa motor listrik ada di mana-mana? Dalam satu kata “kenyamanan”. Motor listrik berfungsi sehingga Anda tidak perlu melakukannya. Baik itu menarik, mendorong, mengangkat, mengaduk, atau berosilasi, motor listrik mengubah energi listrik menjadi gerakan, yang selanjutnya disesuaikan untuk melakukan pekerjaan yang bermanfaat.

Apa rahasia penggunaan motor listrik secara luas? Keandalan. Ini karena kesederhanaannya. Terlepas dari jenisnya, semua motor listrik hanya memiliki dua komponen dasar: rotor (bagian yang bergerak) dan stator (bagian yang diam). Memang benar jika mobil listrik hanya memiliki satu bagian yang bergerak. Jika Anda merancang, membuat, dan menggunakan motor listrik dengan benar, motor ini sebenarnya sangat minim kegagalan dan tidak dapat dihancurkan saat digunakan.

Dalam mobil pembakaran internal, selain motor starter listrik yang sangat penting, Anda biasanya menemukan motor listrik di sistem pemanas/pendingin kompartemen penumpang, kipas radiator, wiper kaca depan, kursi listrik, jendela, kunci pintu, kait bagasi, tampilan belakang luar cermin, antena radio luar, dan banyak lagi.

1.2.2 Baterai

Ke mana pun Anda pergi, Anda juga tidak bisa lepas dari baterai. Mereka ada di perekam pita saku Anda, radio portabel, telepon, ponsel, komputer laptop, alat listrik portabel, peralatan, permainan, senter, kamera, dan banyak lagi perangkat lainnya. Baterai datang dalam dua jenis yang berbeda: dapat diisi ulang dan tidak dapat diisi ulang. Seperti motor, mereka datang dalam berbagai ukuran, bentuk, berat, dan kapasitas. Tidak seperti motor, mereka tidak memiliki bagian yang bergerak. Baterai yang tidak dapat diisi ulang yang Anda buang begitu saja saat kehabisan daya; baterai isi ulang yang Anda sambungkan ke pengisi daya atau sumber tenaga listrik untuk meningkatkan kapasitasnya. Ada berbagai jenis baterai. Antara lain baterai timbal-asam, nikel metal hidrida, dan baterai lithium-ion yang dapat diisi ulang (sebagai beberapa contoh), yang dapat digunakan di mobil Anda untuk mengatur proses pengisian ulang tanpa terlihat melalui generator atau alternator di bawah kap yang mengisi ulang baterai saat Anda mengemudi.

Mengapa baterai ada di mana-mana? Jawabannya adalah “portable”. Baterai, bersama dengan motor starter, melayani fungsi yang sangat penting untuk menghidupkan mobil yang ditenagai oleh mesin pembakaran internal konvensional. Faktanya, kombinasi baterai dan motor starter elektrik, pertama kali diperkenalkan

pada awal 1920-an dan tidak banyak berubah sejak saat itu, yang menempatkan mobil bermesin pembakaran dalam, membuat mobil mudah dinyalakan dan mudah digunakan oleh siapa saja, di mana saja.

Hal menarik lainnya adalah tentang janji untuk mobil listrik adalah teknologi baterai lithium-ion. Ini bergerak cepat ke pasar dan turun harganya. Selama beberapa tahun ke depan kita dapat mengharapkan penurunan harga lebih lanjut, membuat konversi mobil listrik lebih terjangkau. Tak lama lagi, standarnya adalah baterai lithium-ion dalam kit konversi apa pun.

Baterai otomotif timbal-asam yang dapat diisi ulang melakukan tugasnya dengan sangat andal pada berbagai suhu ekstrem dan, jika digunakan dengan benar, akan mempertahankan efisiensinya dan memberikan karakteristik output yang stabil selama periode waktu yang relatif lama (hingga beberapa tahun). Baterai otomotif timbal-asam tidak mungkin gagal kecuali Anda menyetrumnya, menjatuhkannya, melepas suku cadangnya, atau membiarkan sel mengering. Satu-satunya perawatan yang diperlukan dalam baterai timbal-asam adalah memeriksa tingkat elektrolit setiap sel dan secara berkala mengisinya dengan air. Baterai yang lebih baru dan tersegel tidak memerlukan perawatan sama sekali.

1.2.3 Unit Pengendali

Pengendali menjadi jauh lebih cerdas. Teknologi yang sama yang mengurangi komputer dari ukuran ruangan menjadi ukuran meja memungkinkan Anda untuk melakukan kontrol yang tepat atas motor listrik. Terlepas dari sumber tegangan, kebutuhan arus, atau jenis motor, pengontrol saat ini, dibangun dengan komponen listrik *solid-state* yang andal dan dapat dirancang untuk memenuhi hampir semua kebutuhan dan dapat dengan mudah dibuat ringkas agar pas di bawah kap mobil Anda.

Mengapa kendaraan listrik elegan? Saat Anda menggabungkan motor listrik, baterai, dan pengontrol bersama-sama, Anda mendapatkan kendaraan listrik yang andal dan nyaman. Mungkin analogi terbaik adalah bahwa ketika Anda "mengendarai mobil listrik" Anda dapat mengendarai seluruh mobil Anda dari motor starter listrik yang besar, satu set baterai isi ulang yang lebih kuat, dan sakelar starter yang sangat canggih. Tapi itu hanya akan menjadi lebih baik.

Kembali di awal 1990-an ketika edisi pertama buku ini diterbitkan, kendaraan listrik menyerupai alat cukur listrik yang dioperasikan dengan baterai, alat listrik portabel, atau alat dapur. Kendaraan listrik masa kini dan masa depan lebih mirip dengan komputer laptop portabel Anda dalam hal kecanggihan dan kemampuannya.

1.3 Sudahkah Kita Mengendarai Mobil Listrik?

Selain semua diskusi tentang mobil listrik dan perintah dari Dewan Sumber Daya Udara untuk memberi insentif pada mobil listrik, hibrida, dan sel bahan bakar yang direplikasi di beberapa Amerika Serikat, sangat sedikit orang yang membeli, membangun, atau mengubah kendaraan listrik. Karena mereka ingin menyelamatkan planet bumi. Berikut adalah beberapa alasan mengapa orang masuk ke kendaraan listrik.

1.3.1 Kendaraan Listrik Menawarkan “Total”

Dari mulut ke mulut dan pengalaman pribadi membuat perbedaan. Cara lain (lebih baru) adalah dari film dokumenter, *“Who Killed The Electric Car?”* Efek kumulatif dari banyak orang yang menghadiri simposium mobil listrik, rapat umum, dan pertemuan serta film Asosiasi Otomotif Listrik di seluruh dunia — dan mengalami langsung bagaimana rasanya mengendarai atau mengendarainya — secara bertahap berhasil. Hampir secara universal, orang menikmati pengalaman kendaraan listrik yang meningkatkan kesadaran mereka, terkesan olehnya, dan memberi tahu seorang teman. Itulah alasan sebenarnya kebangkitan minat pada mobil listrik.

1.3.2 Kendaraan Lebih Asyik Dikendarai

Bayangkan menyalakan mobil dan tidak mendengar apa-apa. Satu-satunya cara Anda dapat mengetahui bahwa mobil dalam keadaan hidup adalah dengan melihat indikator baterai/bahan bakar di dasbor. Ini hanya kejutan pertama dari banyak orang ketika Anda masuk ke kendaraan listrik.

Ketika saya dulu bekerja untuk New York Power Authority (NYPA) dan melakukan perjalanan dan mengemudi untuk umum, saya selalu mengatakan bahwa begitu Anda masuk, Anda berubah selamanya. Setiap kali seseorang keluar dari mobil, akan ada senyum di wajah mereka, merasakan gembira, dan kemudian pertanyaan pertama yang tak terhindarkan (“Di mana saya bisa mendapatkannya?”) Akan selalu muncul.

Kendaraan listrik pertama dan terutama praktis—tetapi juga menyenangkan untuk dimiliki dan dikendarai. Pemilik mengatakan mereka menjadi benar-benar membuat ketagihan. Berkeliling dalam keheningan kendaraan listrik yang semilir memberi Anda semua kesenangan tanpa kebisingan. Seperti yang saya suka katakan kepada teman-teman saya, "Anda benar-benar dapat kabar baik tentang motor listrik dari orang yang mengendarainya Anda."

1.3.3 Kendaraan Listrik Membuat Perbedaan

Kendaraan listrik adalah cara yang bagus untuk mengemudi dan memberikan kontribusi nyata bagi negara. Dengan mengendarai mobil bebas minyak dan bebas

bensin, Anda mengurangi ketergantungan negara kita pada minyak impor; yang akan membuat Anda nyaman.

Baik Anda pernah memiliki atau bahkan mengendarai Mobil Listrik dari General motor, Toyota RAV4, TH!NK City, Solectria Force, atau truk pikap Porsche 914 atau Ford Ranger yang diubah, atau sasis bawaan dengan bodi kitcar kustom, kendaraan listrik Anda adalah penghenti pertunjukan yang seksi, tenang, dan keren secara teknologi.

Percayalah, jika kata-kata “mobil listrik” atau “kendaraan listrik” muncul dengan jelas di bagian luar mobil, pikap, atau van Anda, Anda tidak akan ingin teman instan di lampu lalu lintas, pusat perbelanjaan, pompa bensin, atau hanya sekedar berhenti bermain. dan pergi di jalan raya. Suatu kali saya mengendarai Mobil listrik Toyota RAV4 di West Side Highway di Manhattan dengan jendela di bawah. Semua jenis orang tertarik. ("Apakah itu mobil listrik? Kapan saya bisa mendapatkannya? Seberapa jauh jaraknya? Apakah sebagus yang orang katakan? "Atau yang terbaik adalah, "Itu adalah satu perjalanan phat!") Atau Anda dapat memarkirnya di tempat tempat yang mencolok, angkat kap mesin, dan tunggu orang pertama yang lewat untuk bertanya, seperti yang ditunjukkan Gambar 1.6.



Gambar 1.6 “Hei, di mana mesinnya?”

Ada tingkat rasa hormat yang Anda terima, kebanggaan dalam mengendarai mobil, dan perasaan memimpin paket dalam pengalaman itu, di pertunjukan dan

demonstrasi. Satu saran juga: sediakan banyak literatur yang selalu tersedia sehingga Anda dapat menjaga diskusi kendaraan listrik Anda kurang dari lima menit. Di sisi lain, jika Anda hanya ingin bertemu orang-orang, buatlah huruf-huruf di papan tanda Anda sangat besar dan Anda tidak akan pernah ingin ditemani.

Pemilik pertama dari sesuatu yang baru selalu memiliki pembaruan dan bisa dikatakan Baru. Anda akan langsung dijadikan ambassador di lingkungan Anda sendiri. Anda mengemudi apa yang orang lain hanya berbicara tentang yang dikemudikan. Sementara mudah-mudahan semua orang akan memilikinya di masa depan, Anda mengendarai kendaraan listrik hari ini. Ketika perangkat TV diperkenalkan pada 1950-an, seluruh lingkungan memadati rumah-rumah pertama dengan layar hitam dan putih kecil pertama. Harapkan hal yang sama dengan proyek kendaraan listrik Anda. Ini akan menunjukkan bahwa Anda dapat mengurangi polusi karbon Anda dengan mobil listrik dan tidak memerlukan biaya ratusan ribu dolar.

1.3.4 Motor Listrik Menghemat Uang

Semua hal emosional ini bagus, tapi mari kita bicara tentang uang tunai. Tanyakan kepada pemilik konversi kendaraan listrik mana pun, dan mereka akan memberi tahu Anda bahwa itu membawa mereka ke mana pun mereka ingin pergi, sangat andal, dan menghemat uang mereka. Mari kita periksa secara terpisah biaya pengoperasian, pembelian, dan kepemilikan seumur hidup dan rangkum potensi penghematannya.

- Biaya operasional

Kendaraan listrik hanya mengkonsumsi listrik. Di sela-sela pengisian daya, tidak ada bahan habis pakai lain yang perlu dikhawatirkan kecuali sesekali menyiram baterai. Angka-angka ini dibahas lebih rinci nanti, tetapi konversi pickup kendaraan listrik Ford Ranger dari Bab 10 rata-rata sekitar 0,44 kWh (kilowatt-jam, ukuran konsumsi energi) per mil. Pada Rp 2.475.000 per kWh untuk listrik di New York (periksa laporan bulanan utilitas listrik Anda untuk tarif yang berlaku di wilayah Anda) yang diterjemahkan menjadi 0,44 kWh/mil 3 Rp 2.475.000 /kWh 5,0726 (Rp 109.500) per mil (Catatan: Tidak termasuk biaya pengisian dan Rp 49.500 per mil untuk penggantian baterai.)

Mari kita bandingkan biaya ini dengan rekanan mesin pembakaran internal bertenaga bensin motor listrik dalam sasis pickup. Yang terakhir mengkonsumsi bensin; sistem pengapian, pendinginan, pengisian bahan bakar, dan pembuangannya memerlukan filter, cairan, dan perawatan berkala. Sasis pikap bertenaga bensin (setara dengan contoh sebelumnya) rata-rata 20 mil per galon atau 0,05 galon per mil. Pada Rp 67.500 per galon untuk gas, yang berarti 0,05 galon/mil 3 Rp 67.500 /galon 5,225 (Rp 337.500) per mil Bahan habis pakai dan pemeliharaan berkala masih harus ditambahkan. Dengan asumsi biaya ini Rp 625.050 per bulan (ganti oli rata-rata selama tiga bulan, aditif bahan bakar, penyetelan dan penyeimbang ban), dan jarak

tempuh tahunan adalah 12.000 mil per tahun, ini berarti Rp 7.500.000/tahun 4 12.000 mil/tahun 5 0,0416 (Rp 63.000) per mil.

Menambahkan dua angka bersama-sama, Anda melihat biaya operasi Rp 405.000 per mil untuk kendaraan bertenaga bensin versus Rp 109.500 per mil untuk kendaraan listriknya yang setara, hampir tiga kali lipat biaya kendaraan listrik. Sementara konversi motor listrik rata-rata Anda “dibuat dengan komponen siap pakai” mungkin menghabiskan sekitar 0,4 kWh per mil, kendaraan listrik General Motor's Impact diberi peringkat 0,1 kWh per mil (0,07 kWh/ km). Ini menurunkan biaya pengoperasian kendaraan listrik Anda menjadi Rp 7.500 per mil. (Catatan: biaya per mil bervariasi tergantung pengemudi.)

- Biaya Pembelian

Kendaraan listrik yang diproduksi secara komersial sangat mahal hari ini. Biaya kendaraan listrik besok jelas akan turun menjadi sama dengan atau kurang dari kendaraan bertenaga pembakaran internal karena lebih banyak unit dibuat (dan skala ekonomi manufaktur ikut bermain) karena mereka memiliki bagian yang jauh lebih sedikit (dan jauh lebih sederhana).

Tetapi buku ini menganjurkan alternatif konversi—Anda mengubah kendaraan mesin pembakaran internal yang ada menjadi kendaraan listrik. Anda melepas mesin pembakaran internal dan semua sistem yang menyertainya, dan menambahkan motor listrik, pengontrol, dan baterai. Jika Anda memulai dengan sasis kendaraan mesin pembakaran internal bekas, Anda dapat menghemat lebih banyak lagi (dengan keuntungan memiliki komponen drive train yang sudah rusak, seperti yang ditunjukkan pada bab selanjutnya). (Bahkan jika Anda membeli Porsche atau mobil kelas atas lainnya, jika Anda berencana untuk membeli Porsche sejak awal, Anda sudah bersedia menghabiskan lebih banyak uang daripada konsumen rata-rata.)

Untuk ini harus ditambahkan biaya sasis kendaraan mesin pembakaran internal Anda. Jika Anda memulai dengan kendaraan baru, ini bisa berarti Rp 150.000.000 atau lebih (dikurangi kredit untuk komponen mesin pembakaran internal yang dilepas). Sasis bekas yang bagus mungkin hanya berharga Rp 30.000.000 hingga Rp 45.000.000 (atau kurang jika Anda memanfaatkan situasi khusus seperti yang disebutkan di Bab 5). Jadi total biaya pembelian Anda berada di kisaran Rp. 300.000.000 hingga Rp 375.000.000. Ini jauh lebih sedikit daripada kendaraan listrik yang sudah dikonversi. Anda dapat melakukan lebih baik jika Anda membeli dengan hati-hati dan mencari suku cadang. Sama jelasnya, Anda juga dapat menghabiskan lebih banyak jika Anda memilih untuk meminta orang lain melakukan pekerjaan konversi, memutuskan Anda harus memiliki sasis Ferrari Testarossa baru, atau memilih untuk membangun roadster bertubuh Kevlar dengan bingkai titanium dari awal.

Buku ini mempromosikan membangunnya sendiri. Sebagai pilihan kendaraan kedua, logika (dan hukum Parkinson—permintaan atas sumber daya cenderung meningkat untuk menyamai pasokan sumber daya) menyatakan bahwa uang yang dihabiskan untuk keputusan ini akan diperluas untuk memenuhi anggaran yang tersedia—terlepas dari apakah pembakaran internal kendaraan mesin atau motor listrik dipilih. Jadi biaya pembelian kendaraan kedua untuk pembakaran internal atau kendaraan listrik adalah pencucian.

1.3.5 Kendaraan Listrik Dapat Disesuaikan

Mobil listrik dapat diupgrade secara modular. Lihat motor dan pengontrol yang lebih baik? Pasang mereka. Temukan baterai yang lebih efisien? Ikat mereka. Anda tidak perlu membeli kendaraan yang sama sekali baru; Anda dapat mengadaptasi teknologi baru secara bertahap saat tersedia.

Mobil listrik mudah dimodifikasi untuk memenuhi kebutuhan khusus. Bahkan ketika Mobil listrik diproduksi dalam jumlah besar, model persis yang dibutuhkan oleh semua orang tidak akan dibuat karena akan sangat mahal untuk melakukannya. Tetapi toko-toko spesialis yang menambahkan pemanas untuk mereka yang tinggal di utara, AC untuk mereka yang tinggal di selatan, dan keduanya untuk mereka yang tinggal di jantung akan bermunculan. Bab 4 akan memperkenalkan Anda kepada spesialis konversi yang ada saat ini.

1.4 Keselamatan Pertama

Kendaraan listrik lebih aman bagi Anda dan semua orang di sekitar Anda. Motor listrik adalah teknologi terbaik bagi individu yang berpikiran aman. Kendaraan listrik disebut ZEV (zero emission vehicle) karena tidak memancarkan apa pun, baik saat bergerak maupun berhenti. Padahal, saat dihentikan, motor kendaraan listrik tidak berjalan dan tidak menggunakan energi sama sekali.

Hal ini sangat kontras dengan kendaraan bertenaga mesin pembakaran internal yang tidak hanya mengkonsumsi bahan bakar tetapi juga menghasilkan polusi terbaik saat berhenti dan berhenti di lalu lintas. Motor listrik jelas merupakan solusi ideal untuk meminimalkan polusi dan pemborosan energi di jalan raya komuter yang macet di seluruh dunia, tetapi bagian ini adalah tentang menyelamatkan diri Anda sendiri: sebagai pemilik kendaraan listrik, Anda tidak akan tersedak sendiri. asap knalpot. Kendaraan listrik mudah dan sangat mudah beradaptasi. Ingin akselerasi lebih? Pasang motor listrik yang lebih besar. Ingin jangkauan yang lebih besar? Pilih desain *power-to-weight* yang lebih baik. Ingin lebih cepat? Perhatikan aerodinamis, bobot, dan kekuatan desain Anda.

Saat Anda membeli, mengonversi, atau membuat motor listrik hari ini, semua pilihan ini dan lebih banyak lagi adalah milik Anda karena tidak ada standar dan sedikit batasan. Pembatasan utama menyangkut keselamatan (Anda ingin tercakup dalam area ini pula), dan diurus dengan menggunakan sasis otomotif mesin pembakaran internal yang sudah ada yang telah memenuhi syarat keselamatan. Standar keselamatan lain yang akan digunakan saat membeli, memasang, menggunakan, dan menyervis komponen konversi motor listrik Anda akan dibahas nanti dalam buku ini.

Menjadi lebih baik: motor listrik tidak membawa bahan bakar yang mudah terbakar, sirkuit pengapian busi 20.000 volt, manifold buang panas, catalytic converter, atau radiator panas di dalamnya.

Mereka yang menikmati:

- Kebakaran kompartemen mesin (disebabkan oleh pengapian atau manifold panas— seperti yang terlihat di sisi jalan),
- Ledakan cairan pendingin radiator yang panas (disebabkan oleh pelepasan tutup radiator yang tidak tepat; sayangnya banyak dari kita pernah mengalaminya secara langsung), atau
- Memulai kebakaran hutan (disebabkan oleh konverter katalitik panas yang diparkir di atas rumput kering) hanya harus pergi ke tempat lain untuk hiburan mereka, karena itu tidak terjadi di sini.

Bahkan lebih baik, Anda menghemat keausan pada diri sendiri dengan tidak harus melakukan tugas-tugas yang tidak perlu terkait dengan kepemilikan kendaraan. Bandingkan banyak aktivitas kendaraan mesin pembakaran internal periodik yang ditunjukkan pada Gambar 1.3 dengan kebutuhan kendaraan listrik yang jauh lebih sederhana yang ditunjukkan pada Gambar 1.4.

Dalam kategori "Buruk" tapi tidak terlalu berbahaya pemilik kendaraan listrik tidak perlu mengotak-atik oli (tidak ada titik licin gelap di lantai garasi Anda), antibeku (tidak ada titik yang lebih ringan dan licin di lantai garasi Anda), atau filter (jenis yang Anda pegang di lap yang jauh dari tubuh Anda karena kotor atau kotor).

Untuk kritikus yang berkomentar bahwa baterai timbal-asam memancarkan gas hidrogen yang berpotensi berbahaya saat mengisi daya, dan menunjukkan bahwa kendaraan listrik memiliki banyak baterai: Kapan terakhir kali Anda mendengar kematian atau cedera akibat pengisian baterai? Itu mungkin tetapi sangat tidak mungkin.

Bagaimana dengan bagian asam dalam baterai timbal-asam? Anda akan belajar tentang detail baterai di Bab 8, tetapi asamnya adalah asam sulfat encer. Pasti sakit jika tumpah

pada Anda atau apa pun, tetapi tidak meledak atau terbakar dan dapat dengan mudah dilawan dengan menyiram dengan air.

Di sisi keamanan lain, sementara kendaraan listrik tidak mengeluarkan polusi suara, ada kekhawatiran tentang kendaraan hibrida yang tidak aman bagi pejalan kaki dengan gangguan penglihatan karena mesinnya tidak mengeluarkan suara.

Namun, Federasi Tunanetra Nasional yang berbasis di Baltimore memberikan kesaksian tertulis kepada Kongres Amerika Serikat yang meminta standar suara minimum untuk hibrida untuk dimasukkan dalam peraturan emisi negara bagian. Seperti yang dikatakan presiden grup, Marc Maurer, dia tidak tertarik untuk kembali ke kendaraan yang boros bahan bakar, mereka hanya ingin hibrida hemat bahan bakar memiliki beberapa jenis suara peringatan.

“Saya tidak ingin memilih jalan itu, tetapi saya juga tidak ingin ditabrak oleh mobil yang sepi,” kata Maurer.

Produsen mengetahui masalah ini tetapi belum membuat janji. Toyota sedang mempelajari masalah ini secara internal, kata Bill Kwong, juru bicara Toyota Motor Sales USA.

“Salah satu dari banyak keunggulan Prius, selain penghematan bahan bakar yang sangat baik dan emisi yang rendah, adalah performa yang senyap. Tidak hanya tidak mencemari udara, tetapi juga tidak menimbulkan polusi suara,” kata Kwong. “Kami sedang mempelajari masalah ini dan mencoba menemukan keseimbangan yang rumit itu.”

Association of International Auto Manufacturers Inc., sebuah kelompok perdagangan, juga mempelajari masalah tersebut, bersama dengan komite yang dibentuk oleh *Society of Automotive Engineers*. Kelompok-kelompok tersebut sedang mempertimbangkan "kemungkinan menetapkan standar tingkat kebisingan minimum untuk kendaraan hibrida," kata Mike Camissa, direktur keselamatan untuk asosiasi produsen. (Sumber: Michael d'Estries, Groovy Green.)

Kendaraan Listrik Menyelamatkan Lingkungan. Kepemilikan motor listrik adalah bukti nyata komitmen Anda untuk membantu membersihkan lingkungan. Bab 2 akan membahas secara rinci manfaat lingkungan dari pilihan ini. Motor listrik tidak menghasilkan emisi apa pun yang membahayakan udara, dan hampir semua yang ada di dalamnya dapat didaur ulang. Plus, setiap konversi kendaraan listrik mewakili satu kendaraan pembakaran internal yang lebih sedikit polusi di jalan. Kendaraan listrik bukan hanya bentuk transportasi paling modern dan efisien, tetapi juga membantu mengurangi polusi karbon kita hari ini.

1.5 Mitos Kendaraan Listrik (Menghilangkan Rumor)

Ada empat mitos/rumor yang beredar luas tentang kendaraan listrik yang tidak benar. Karena kenyataan dalam setiap kasus adalah kebalikan 180° dari mitos, Anda harus tahu tentang mereka.

1.5.1 Mitos #1: Kendaraan Listrik Tidak Bisa Cepat

Nah, ini mungkin benar jika Anda berbicara tentang van empat ton yang membawa 36 baterai. Kenyataannya, motor listrik dapat melaju secepat yang Anda inginkan, cukup pilih model kendaraan listrik (atau rancang atau buat) dengan kemampuan kecepatan yang Anda inginkan. Salah satu contoh seberapa cepat mereka dapat berakselerasi adalah ketika saya mengendarai TH!NK City di New York City, seperti yang ditunjukkan pada pendahuluan. Saya berada di lampu lalu lintas di sebelah taksi Ford (betapa pantasnya karena Ford memiliki TH!NK pada saat itu). Sopir taksi ingin melihat seberapa cepat mobil itu bisa melaju, jadi saya berkata, "Saya tahu dia bisa mengalahkan Anda." (Harap dicatat bahwa semua ini dilakukan dengan baik dalam batas kecepatan legal di jalan di Manhattan) Dia berkata, "Kamu gila" Jadi lampu berubah menjadi hijau dan saya menginjak pedal gas. Raut wajah sopir taksi itu bernilai satu juta dolar. Dia lebih dari terkejut dengan torsi dan akselerasi. Orang-orang di jalan berteriak, "Go, Go, Goooo." Aku menghempaskan dia dibelakang. Kami bertemu di lampu lalu lintas berikutnya dan dia berkata, "Di mana saya bisa mendapatkannya?" Cukup kata.

Teknologi motor listrik saat ini menggunakan baterai nikel, seperti Toyota RAV4 atau bahkan mobil listrik hibrida saat ini seperti Prius atau hibrida Honda Civic. Perusahaan konversi lainnya mulai menggunakan baterai lithium-ion; namun, sebagian besar masih menggunakan asam timbal.

Kecepatan kendaraan listrik berhubungan langsung dengan bobotnya, karakteristik bodi/sasis seperti hambatan udara dan rolling, ukuran (kapasitas) motor listrik, dan tegangan baterai. Semakin banyak voltase, semakin banyak baterai yang Anda miliki, semakin cepat motor listrik tertentu dapat mendorong kendaraan, tetapi menambahkan baterai juga menambah bobot kendaraan. Semua faktor ini berarti Anda dapat mengontrol berapa banyak kecepatan yang Anda maksimalkan dari motor listrik Anda, dan Anda tentu saja tidak dibatasi dengan cara apa pun. Jika kecepatan itu penting, maka optimalkan kendaraan listrik yang Anda pilih untuk itu.

1.5.2 Mitos #2: Kendaraan Listrik Memiliki Jangkauan Terbatas.

Tidak ada yang bisa lebih jauh dari kebenaran tetapi, sayangnya, mitos ini telah diterima secara luas. Kenyataannya adalah bahwa kendaraan listrik dapat melaju sejauh yang dibutuhkan kebanyakan orang. Ingat, buku ini menganjurkan konversi

kendaraan listrik hanya sebagai kendaraan kedua Anda. Sementara baterai lithium-ion akan memperluas jangkauan Anda secara dramatis dan ada beberapa orang yang bepergian lintas negara dengan kendaraan listrik, itu belum merupakan penggunaan terbaik untuk perjalanan besar-besaran saat ini.

Tapi apa jangkauannya? Pemerintah federal melaporkan bahwa rata-rata jarak perjalanan komuter harian untuk semua jenis perjalanan kendaraan (mobil, truk, bus) adalah 10 mil, dan angka ini tidak banyak berubah dalam 20 tahun pengumpulan data. Sebuah studi sebelumnya menunjukkan bahwa 98% dari semua perjalanan kendaraan berada di bawah 50 mil per hari; kebanyakan orang melakukan semua mengemudi mereka secara lokal, dan hanya melakukan beberapa perjalanan jauh. Perjalanan 100 mil dan lebih lama hanya mencakup 17% dari total mil. Survei General Motors sendiri di awal tahun 90-an (diambil dari sampel pengemudi di Boston, Los Angeles, dan Houston) menunjukkan:

- Kebanyakan orang tidak mengemudi terlalu jauh.
- Lebih dari 40 persen dari semua perjalanan berada di bawah 5 mil.
- Hanya 8 persen dari semua perjalanan yang menempuh jarak lebih dari 25 mil.
- Hampir 85 persen pengemudi mengemudi kurang dari 75 mil per hari.

Hampir semua konversi kendaraan listrik 120 volt saat ini akan menempuh jarak 75 mil, menggunakan komponen siap pakai yang tersedia, jika Anda menjaga bobot di bawah 3.000 pon. Ini berarti sebuah motor listrik dapat memenuhi lebih dari 85 persen kebutuhan rata-rata. Jika Anda bepergian ke tempat kerja — tempat yang mungkin memiliki outlet listrik — Anda hampir dapat melipatgandakan jangkauan Anda dengan mengisi ulang selama jam kerja Anda. Plus, jika jangkauan sangat penting, optimalkan kendaraan listrik Anda untuk itu. Sesederhana itu.

1.5.3 Mitos #3: Kendaraan Listrik Tidak Nyaman

Mitos bahwa mobil listrik tidak efektif sebagai alat transportasi nyata atau tidak nyaman adalah mitos/rumor yang sangat konyol. Perusahaan mobil dan lainnya mengeluh bahwa tidak ada infrastruktur pengisian ulang yang cukup di seluruh negeri atau Anda tidak dapat mengisi daya mobil di mana pun Anda inginkan seperti mengisi bahan bakar mobil. Sebuah pertanyaan populer adalah, “Misalkan Anda sedang mengemudi dan Anda tidak berada di dekat rumah Anda untuk mengisi daya atau Anda kehabisan listrik; Apa yang kamu kerjakan?” Nah, jawaban favorit saya adalah, “Saya akan melakukan hal yang sama jika saya kehabisan bensin yaitu menghubungi dinas perhubungan atau truk derek.”

Kenyataannya adalah bahwa kendaraan listrik sangat nyaman. Pengisian ulang senyaman stopkontak terdekat, terutama untuk mobil konversi yang menggunakan stopkontak 100 volt. Berikut beberapa alasan lainnya:

- Anda bisa mendapatkan listrik di mana saja Anda bisa mendapatkan bensin—tidak ada SPBU
- Tanpa listrik.
- Anda bisa mendapatkan listrik dari banyak tempat lain, hanya ada sedikit rumah dan hampir tidak ada bisnis di negara ini tanpa listrik. Semua ini adalah sumber potensial bagi Anda untuk mengisi ulang kendaraan listrik Anda.
- Seiring waktu, karena kendaraan listrik dan mobil listrik hibrida *plug-in* menjadi lazim, penyedia bahan bakar akan meningkatkan infrastruktur mereka untuk stasiun pengisian dan kita semua akan menyukai harga itu versus satu galon gas.
- Perjalanan di pelosok hutan (dan bahkan ini terisi dengan cepat), hanya ada beberapa tempat yang dapat Anda kendarai sejauh 75 mil tanpa melihat outlet listrik di daerah yang berdekatan. Eropa dan Jepang tidak memiliki tempat seperti itu.
- Kemampuan pengisian ulang *plug-in* dimana saja merupakan keunggulan kendaraan listrik yang luar biasa. Tidak diragukan lagi itu adalah keuntungan ketika kendaraan listrik Anda diparkir di garasi rumah Anda, carport, atau jalan masuk. Jika Anda tinggal di apartemen dan dapat mengatur pengaturan pengisian daya, itu adalah ide yang lebih baik: perangkat yang sangat sederhana dapat dipasang untuk memberi sinyal kepada Anda jika ada orang yang mencoba mencuri mobil Anda.
- Seberapa nyamankah kendaraan listrik? Ada sangat sedikit tempat yang dapat Anda kendarai di dunia yang beradab di mana Anda tidak dapat mengisi ulang dalam keadaan darurat, dan satu-satunya kekhawatiran Anda adalah menambahkan air sesekali. Listrik ada hampir di mana-mana; Anda hanya perlu mencari cara untuk memanfaatkannya. Jika kendaraan listrik Anda memiliki *charger onboard*, kabel ekstensi, dan steker yang tersedia, tidak lebih sulit daripada pergi ke rumah tetangga Anda untuk meminjam secangkir gula. Kecuali, tentu saja, Anda mungkin ingin meninggalkan tip tunai dalam kasus ini.

Meskipun tidak ada outlet listrik yang dirancang khusus untuk mengisi ulang kendaraan listrik yang berlokasi di mana-mana saat ini, dan meskipun tidak diragukan lagi lebih mudah dan lebih cepat untuk mengisi ulang kendaraan listrik Anda dari kios 110 volt atau 220 volt, pasokan listrik 120 volt yang tersedia secara luas tidak pekerjaan dengan cukup baik. Ketika lebih banyak infrastruktur ada di masa depan, akan lebih mudah untuk mengisi baterai Anda. Di masa depan, Anda akan dapat mengisi ulang lebih cepat dari beberapa opsi tegangan dan arus, memiliki kemampuan "pengisian cepat" dengan membuang satu tumpukan baterai ke yang lain, dan bahkan mungkin memiliki paket baterai seragam yang Anda tukar dan ikat di "baterai" lokal. "stasiun" dalam waktu tidak lebih dari yang Anda perlukan untuk mengisi bensin di pompa bensin hari ini. Seperti yang digunakan di rumah Anda saat

ini, listrik bersih, tenang, aman, dan tetap berada di stopkontak sampai Anda membutuhkannya.

1.5.4 Mitos #4: Kendaraan Listrik Itu Mahal.

Meskipun mungkin benar untuk kendaraan listrik yang diproduksi dalam volume rendah saat ini dan sebagian benar untuk unit konversi yang dilakukan secara profesional, tidak benar untuk konversi kendaraan listrik *do-it-yourself* yang dianjurkan buku ini. Kenyataannya, seperti yang kita lihat sebelumnya dalam bab ini, adalah bahwa kendaraan listrik harganya sama untuk dibeli (Anda tidak akan menghabiskan lebih banyak untuk itu daripada yang akan Anda anggarkan untuk kendaraan mesin pembakaran internal kedua Anda), sama dengan mempertahankan, dan jauh lebih sedikit per mil untuk beroperasi. Dalam jangka panjang, peningkatan volume produksi dan teknologi di masa depan hanya akan membuat manfaat biaya lebih menguntungkan kendaraan listrik.

1.6 Kekurangan Mobil Listrik

Yah, pasti ada sisi negatifnya. Jika salah satu faktor di bawah ini penting bagi Anda, Anda mungkin lebih baik dilayani dengan mengambil tindakan alternatif.

Perjalanan yang diperpanjang seperti yang telah disebutkan; kendaraan listrik bukanlah pilihan terbaik Anda untuk perjalanan lintas benua saat ini, atau perjalanan jauh pada umumnya. Bukan karena Anda tidak bisa melakukannya. Metode alternatif hanya lebih nyaman. Seperti disebutkan, buku ini menganjurkan penggunaan kendaraan listrik *convert-it-yourself* (ubah sesuai kebutuhan anda) sebagai kendaraan kedua. Bila Anda perlu melakukan perjalanan lebih lama, gunakan kendaraan pertama Anda, naik pesawat terbang, kereta api, atau bus, atau sewa kendaraan.

1.6.1 Saatnya Membeli/Membangun Mobil Listrik

Terlepas dari keputusan Anda untuk membeli, membangun, atau mengubah kendaraan listrik, Anda akan membutuhkan waktu untuk melakukannya, tetapi tentu saja lebih sedikit daripada sebelumnya. Ada jaringan yang berkembang dari dealer kendaraan listrik dan toko konversi baru dan bekas. Namun, pasokan untuk pengontrol dan motor kelas tertinggi memang membutuhkan waktu untuk diproduksi dan akan memperlambat proses konversi Anda. Meskipun, karena permintaan untuk produk-produk ini meningkat, pasokannya juga akan meningkat dan waktu yang dibutuhkan untuk membuat produk-produk ini akan berkurang. (Periksa bagian Sumber di akhir buku.) Tetapi rencanakan untuk mengambil beberapa minggu hingga beberapa bulan untuk tiba di kendaraan listrik pilihan Anda.

Penjualan kembali kendaraan listrik (jika Anda memutuskan untuk menjual motor listrik Anda) akan memakan waktu lebih lama untuk alasan yang sama. Sementara

pasar yang cukup siap ada melalui Asosiasi Otomotif Listrik dan buletin nasional, itu masih akan membawa Anda lebih lama dan kurang nyaman daripada pergi ke dealer mobil lokal.

1.6.2 Perbaikan

Bengkel kendaraan listrik yang praktis juga belum ada. Meskipun pengalaman *build-it-yourself* (rancang sesuai keinginan) akan memungkinkan diagnosis cepat Anda atas masalah apa pun, suku cadang pengganti bisa memakan waktu sehari-hari, berminggu-minggu, atau berbulan-bulan bahkan melalui operator yang dipercepat. Anda bisa saja menimbun suku cadang sendiri, tetapi waktu yang tepat untuk memikirkan ini atau alternatif perbaikan lainnya adalah sebelum Anda membuat keputusan kendaraan listrik Anda.

1.7 Kekuatan Mobil Listrik

Apa yang Anda lihat hari ini di kendaraan listrik hanyalah puncak gunung es. Perbaikan di masa depan dijamin akan membuat mereka lebih cepat, lebih jauh jangkauannya, dan bahkan lebih efisien. Ada lima alasan umum yang menjamin kendaraan listrik akan selalu bersama kita di masa depan. Satu-satunya yang tidak dibahas sebelumnya adalah perubahan teknologi. Semua teknologi yang tersedia baru saja diperas dari kendaraan mesin pembakaran internal, dan mereka akan lebih diperas lingkungan di masa depan. Ini akan memukul setiap pembeli tepat di dompet. Keuntungan tambahan tidak akan datang dengan murah. Mesin pembakaran internal hampir mencapai akhir masa pakai teknologinya. Hampir semua peningkatan dalam memenuhi persyaratan *Corporate Average Fuel Economy (CAFE)* yang lebih tinggi saat ini telah dicapai melalui peningkatan teknologi elektronik. CAFE adalah ekonomi bahan bakar rata-rata tertimbang penjualan, dinyatakan dalam mil per galon (mpg), dari armada produsen mobil penumpang atau truk ringan dengan peringkat berat kendaraan kotor (GVWR) 8.500 lbs. atau kurang, diproduksi untuk dijual di Amerika Serikat, untuk model tahun tertentu. Penghematan bahan bakar didefinisikan sebagai jarak tempuh rata-rata yang ditempuh oleh sebuah mobil per galon bensin (atau jumlah setara bahan bakar lainnya) yang dikonsumsi sebagaimana diukur sesuai dengan protokol pengujian dan evaluasi yang ditetapkan oleh Badan Perlindungan Lingkungan (EPA) (Sumber: National Highway Administrasi Keselamatan Lalu Lintas).

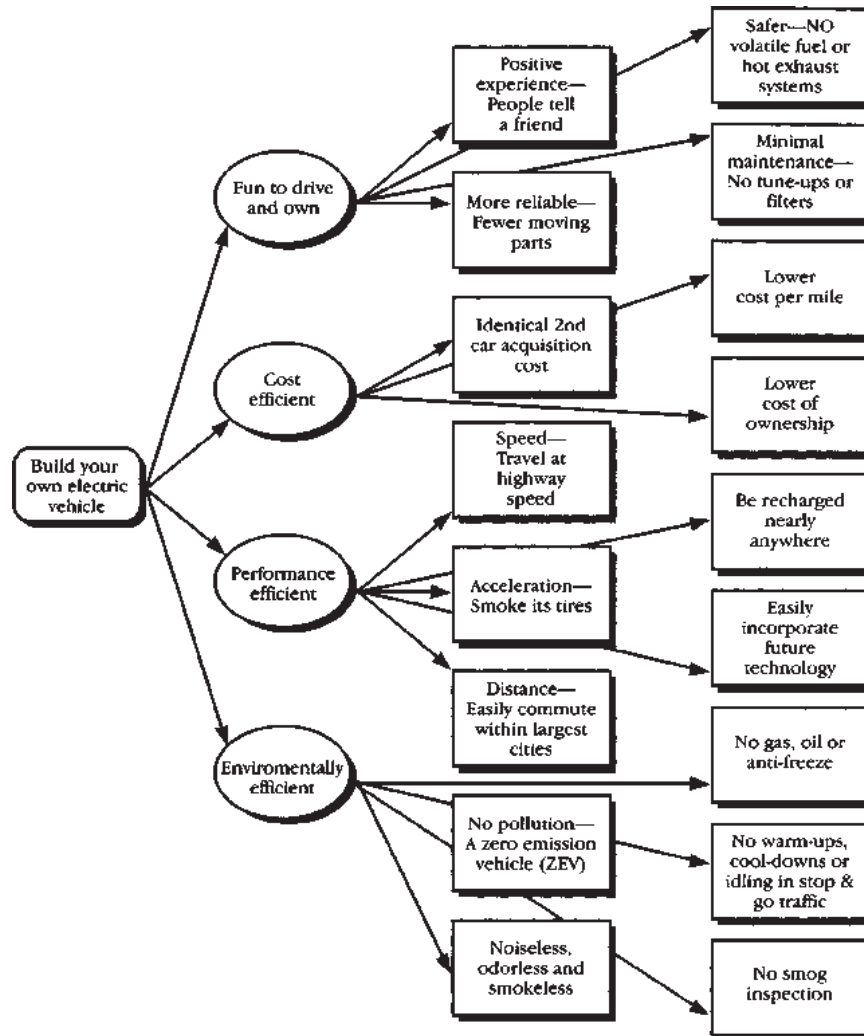
Pada tahun 2020, CAFE mengamankan semua mobil baru yang dibangun akan memiliki penghematan bahan bakar 35 mil per galon sebagaimana disetujui oleh Kongres Amerika Serikat. Karena efisiensi bahan bakar kendaraan listrik lebih dari itu, motor listrik akan selalu menjadi pendekatan terbaik.

Selain itu, begitu teknologi baterai lithium menjadi standar, kendaraan listrik akan mampu menempuh jarak 300 hingga 600 mil (tergantung teknologinya). Tidak diragukan lagi, masa depan terlihat cerah untuk kendaraan listrik karena yang terbaik belum datang.

Empat alasan lainnya dibahas dalam bab ini, dan diringkas dalam Gambar 1.7:

- Menyenangkan untuk dikendarai dan dimiliki
- Hemat biaya
- Kinerja efisien
- Ramah lingkungan

Salah satu dari empat alasan di atas sudah memaksa dengan sendirinya; manfaat dari semua alasan ini jika digabungkan sangat banyak.



Gambar 1.7 Empat alasan mengapa motor listrik akan digunakan dimasa depan.

BAB II

MOBIL LISTRIK RAMAH LINGKUNGAN DAN HEMAT ENERGI

“Kebutuhan banyak orang melebihi kebutuhan segelintir orang.”

-Bapak. Spock (dari Star Trek, The Motion Picture)

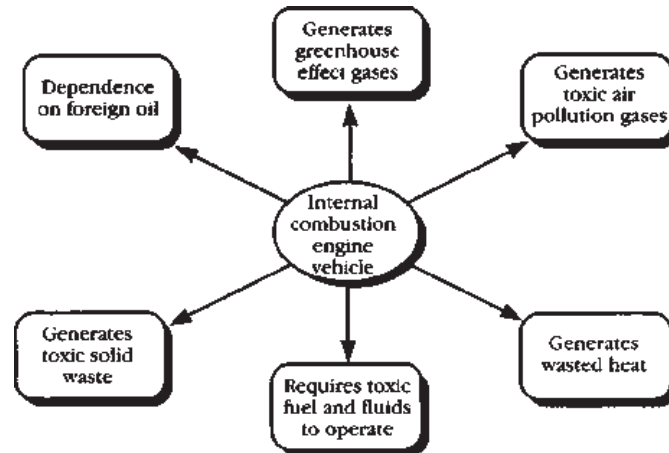
Selain fakta bahwa konsumen telah secara konsisten tertarik pada mobil listrik (meskipun laporan populer oleh perusahaan mobil), ada kegembiraan baru (tidak ada permainan kata-kata) di kedua mobil listrik hibrida *plug-in* (yang lebih banyak mobil listrik daripada hibrida) dan mobil listrik (Tesla, TH!NK City, RAV4, EV1). Ini hanya berarti hal-hal besar bagi planet ini. Secara khusus, nol emisi knalpot dan kualitas udara yang lebih baik di kota-kota metropolitan utama kita. Dan dengan ini adalah pengurangan yang signifikan dalam penggunaan energi secara keseluruhan.

2.1 Mengapa Kendaraan Listrik Ramah Lingkungan?

Kendaraan listrik adalah kendaraan tanpa emisi (ZEV). Mereka tidak memancarkan senyawa beracun ke atmosfer kita. Bahkan pembangkit listrik yang menghasilkan tenaga untuk motor listrik memiliki standar yang lebih tinggi (artinya tingkat emisi beracun yang lebih rendah) dibandingkan dengan emisi yang terkait dengan kendaraan bertenaga bensin. Segala sesuatu yang masuk dan keluar dari kendaraan pembakaran internal, di sisi lain, beracun dan masih diklasifikasikan di antara perangkat mekanis yang paling tidak efisien di planet ini.

Jauh lebih buruk daripada sifat operasinya yang tidak efisien dan merusak diri sendiri adalah warisan masalah lingkungan (dirangkum dalam Gambar 2.1) yang diciptakan oleh kendaraan bermesin pembakaran dalam bila dikalikan dengan ratusan juta/miliar kendaraan. Yang terbesar dari masalah ini termasuk yang berikut:

- Ketergantungan pada minyak asing (risiko lingkungan dan keamanan nasional)
- Efek rumah kaca (pemanasan atmosfer)
- Polusi udara beracun
- Panas terbuang yang dihasilkan oleh ketidakefisiennya

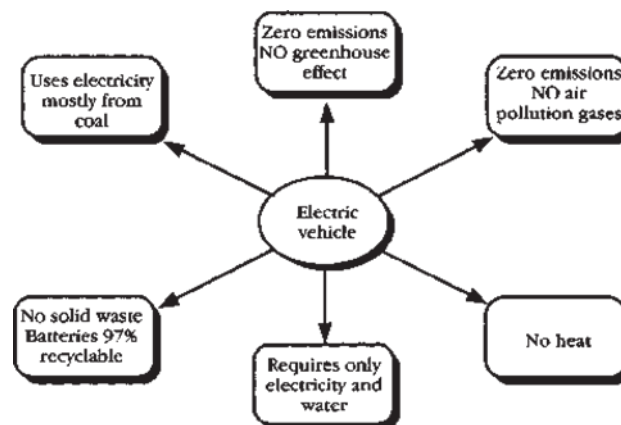


Gambar 2.1 Kendaraan bermesin pembakaran dalam menimbulkan banyak masalah.

2.2 Mengapa Mobil Listrik Menghemat Energi dan Uang?

Karena kendaraan listrik menggunakan lebih sedikit energi daripada kendaraan bertenaga bensin, pengaruhnya terhadap lingkungan jauh lebih sedikit daripada kendaraan yang menggunakan bahan bakar fosil. Karena kendaraan listrik lebih efisien daripada kendaraan bertenaga bensin, biaya operasionalnya lebih murah.

Kendaraan listrik telah ada selama lebih dari seratus tahun (sebelum kendaraan mesin pembakaran internal). Teknologi yang diturunkan dari kedirgantaraan untuk meningkatkannya telah ada selama beberapa dekade. Tidak diragukan lagi, mobil listrik akan menjadi moda transportasi de facto pilihan untuk tahun-tahun mendatang, jika kehidupan di planet kita ingin terus eksis dalam bentuk modernnya dengan kenyamanan yang kita andalkan saat ini. Gambar 2.2 menunjukkan alasannya. Berbeda langsung dengan masalah yang diciptakan oleh kendaraan mesin pembakaran internal:



Gambar 2.2: Kendaraan listrik tidak menimbulkan masalah lingkungan.

- Menggunakan listrik (saat ini listrik sebagian besar berasal dari batubara).
- Apakah kendaraan tanpa emisi; mereka tidak mengeluarkan polutan.

- Menghasilkan sedikit limbah beracun (baterai timbal-asam 98% dapat didaur ulang).
- Tidak memerlukan cairan input beracun seperti air dan cairan pencuci (hanya sesekali menyiram baterai, jika Anda memilih baterai timbal-asam yang lebih murah)
- Sangat efisien (motor dan pengontrol 90%, baterai 75 hingga 80%).
- Manfaat utilitas listrik (pasar untuk penjualan listrik).

Bahkan keunggulan biaya masuk ke kendaraan listrik karena kendaraan listrik mengubah sekitar 70 persen energi pengisian menjadi energi motor, sedangkan kendaraan bertenaga bensin biasa hanya mengubah sekitar 20 persen energi dalam bensin menjadi energi mesin. Transmisi otomatis mewakili kerugian signifikan lainnya, seperti halnya alat bantu seperti *power steering* dan AC. (Di sekitar kota, AC dapat menghabiskan 40 persen atau lebih dari daya yang tersedia.) Untuk konversi, 100.000 BTU (1 term) 5 29,3 kWh 5 39,3 hp/jam (tenaga kuda per jam). Jadi untuk harga yang sama, Anda memiliki 47 hp/jam untuk listrik dan 21 hp/jam untuk kendaraan yang ditenagai oleh bensin California. Dalam penggunaan sebenarnya Anda dapat memiliki Motor Listrik type RAV4 seharga Rp 600 per mil dan RAV4 bertenaga bensin seharga Rp 2.400 per mil hanya untuk bahan bakar.

2.2.1 Mobil Listrik Hemat Bahan Bakar

Perusahaan mobil kini berupaya mengembangkan atau menyediakan mobil yang lebih hemat bahan bakar. Pasar menginginkannya, organisasi besar telah merespons pasar, dan perusahaan mobil yang berkinerja baik (Toyota dan Honda) memproduksi mobil hibrida dan hemat bahan bakar. Sekarang, Ford, General Motors (GM), dan perusahaan mobil lainnya juga memproduksi atau mengembangkan mobil jenis ini. Hal ini diharapkan mendapatkan keuntungan besar dalam bisnis.

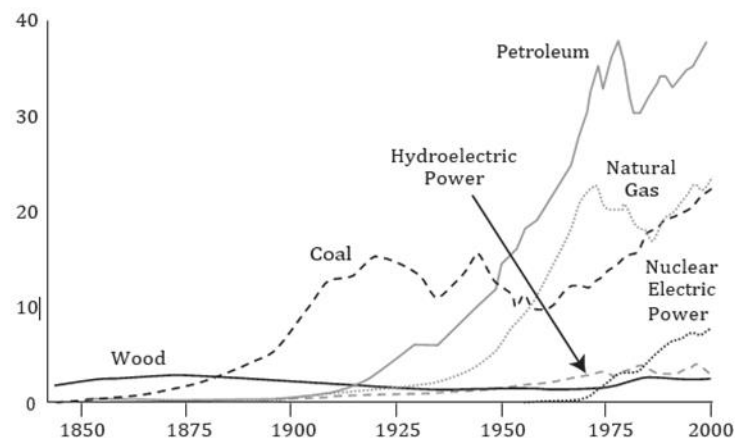
Banyak yang telah dikatakan tentang menciptakan jenis mobil baru yang bisa mendapatkan 35 mpg. Di negara lain di mana bahan bakar sangat mahal, mobil seperti itu sudah ada. Mobil-mobil itu jauh lebih kecil dan memiliki mesin yang lebih kecil. Apa yang belum dikatakan adalah sejauh mana pengemudi mengendalikan jangkauan kendaraan ini. Di negara-negara di mana bahan bakar mahal, pengemudi cenderung mengemudi dengan kecepatan lebih lambat. Mengemudi dua kali lebih cepat membutuhkan energi empat kali lipat untuk mengatasi kerugian aerodinamis. Untuk pergi dari 50 mph ke 100 mph meningkatkan tingkat bahan bakar atau energi listrik yang digunakan hampir dengan faktor delapan. (Karena Anda sampai di sana dalam setengah waktu, total energi yang digunakan meningkat empat kali lipat.) Kaki kanan pengemudi lebih dari apa pun yang mengontrol mpg atau mil/kWh untuk kendaraan tertentu. Bahkan jika Anda tidak memiliki mobil listrik, berencana untuk mengubah mobil, atau berencana membeli mobil listrik hibrida, satu hal yang dapat diambil dari buku ini adalah bahwa mengemudi dengan lebih efisien akan mengurangi polusi karbon Anda.

2.2.2 Siapa yang Harus Disalahkan?

Tidak ada satu dan semua orang. Kalimat dari Dr. Zhivago tentang “satu orang Rusia yang mencabut kayu dari pagar untuk menyediakan panas bagi keluarganya di musim dingin sangat menyedihkan, satu juta orang Rusia melakukan hal yang sama adalah bencana” berlaku sama baiknya untuk kita semua dan kendaraan mesin pembakaran internal kita. Diterapkan secara kolektif, warisan mesin pembakaran internal adalah efek rumah kaca, ketergantungan minyak asing, dan polusi. Mari kita definisikan masalah dan solusinya secara ringkas.

Transportasi Amerika Serikat Bergantung pada Minyak

Meskipun sejumlah kecil gas alam dan listrik digunakan, sektor transportasi hampir seluruhnya bergantung pada minyak. Pandangan singkat pada beberapa grafik akan menunjukkan fakta (lihat Gambar 2.3). Tidak perlu ilmuwan roket untuk mengetahui bahwa situasi ini adalah masalah strategis dan ekonomi bagi kita.



Gambar 2.3 Konsumsi energi Amerika Serikat berdasarkan sumber dari tahun 1850 hingga 2000 (milik Wikipedia).

Penggunaan Energi AS: Quad BTU (1 Quad/dtk = 1 triliun MW)

Empat puluh persen energi kita berasal dari minyak bumi, 23% dari batu bara, dan 23% dari gas alam. Sisanya 14% berasal dari tenaga nuklir, pembangkit listrik tenaga air, dan energi terbarukan. Seperti yang dikatakan Bob Brant, "Seluruh ekonomi kita jelas bergantung pada minyak."

Amerika Serikat mengkonsumsi 20,8 juta barel minyak bumi per hari, dimana 9 juta barel adalah gas. Mobil adalah konsumen minyak terbesar, mengkonsumsi 40 persen, dan juga merupakan sumber 20 persen emisi gas rumah kaca negara.

Amerika Serikat memiliki sekitar 22 miliar barel cadangan minyak sementara mengkonsumsi sekitar 7,6 miliar barel per tahun. Masalah yang terkait dengan pasokan minyak termasuk harga minyak yang fluktuatif, meningkatnya permintaan dunia dan domestik, dan turunnya produksi dalam negeri.

Meskipun kesalahan kita sendiri karena membiarkannya terjadi, kenaikan harga Organisasi Negara Pengekspor Minyak (OPEC) telah berdampak buruk pada ekonomi kita, sistem transportasi kita, dan standar hidup kita. Krisis Minyak Arab tahun 1973 dan selanjutnya bukanlah pengalaman yang menyenangkan. Setelah setiap krisis, Amerika Serikat berjanji untuk tidak terlalu bergantung pada produsen minyak asing, namun justru yang terjadi sebaliknya.

Meningkatkan Biaya Minyak Jangka Panjang

Ada jumlah tetap minyak/minyak bumi di tanah di seluruh dunia, dan tidak akan ada lagi. Kita akan kehabisan minyak di beberapa titik. Sebelum itu terjadi, itu akan menjadi mahal.

Bagaimana kita masuk ke situasi ini? Hari ini kita sudah melewati jumlah itu. Tidak ada yang dapat secara akurat memprediksi harga bahan bakar pada musim panas ini atau tahun depan, dan apakah akan ada kekurangan atau kelimpahan pasokan. Semua orang setuju bahwa ini adalah situasi yang buruk. Kita perlu mengambil langkah nyata untuk memperbaiki masalah. Karena tidak seorang pun dari kita memiliki kemewahan untuk tidak pergi bekerja, banyak solusi "penyelesaian" yang kreatif akan muncul jika bensin tiba-tiba berharga Rp 67.500 per galon di Amerika Serikat atau harga untuk satu barel minyak berharga lebih dari Rp 2.250.000—misalnya, kendaraan elektrik.

Bagaimana Kendaraan Listrik Dapat Membantu

Mempertahankan tingkat emisi polusi udara beracun yang ketat serta menyesuaikan dengan tingkat ekonomi bahan bakar rata-rata perusahaan yang diamankan semakin tinggi menempatkan beban besar pada teknologi kendaraan mesin pembakaran internal dan pada dompet Anda. Pabrikan otomotif harus bekerja lembur dengan staf teknis mereka untuk mencapai prestasi ini, dan biayanya akan dibebankan kepada pembeli baru.

Kontrol polusi adalah masalah yang harus dikaji kembali oleh setiap pemilik kendaraan mesin pembakaran internal setiap tahun: pemeriksaan asap, sertifikat emisi, katup yang diganti, pompa, filter, dan suku cadang, semua biaya kepemilikan tambahan dan ketidaknyamanan.

Bagaimana kendaraan listrik dapat mengurangi emisi polusi udara beracun? Mudah. Semua kendaraan listrik menurut definisi kendaraan emisi nol (ZEV): mereka tidak memancarkan apa pun. Itu sebabnya California dan negara bagian lain telah mengamanatkan kendaraan listrik untuk mengatasi masalah polusi udara mereka. Mengutip uanlu Wang, Mark A. DeLuchi, dan Dan Sperling, yang mempelajari subjek ini secara ekstensif:

“Kesimpulan dari penemuan ini adalah bahwa penggantian kendaraan listrik untuk kendaraan bertenaga bensin akan secara dramatis mengurangi karbon dioksida, hidrokarbon, dan pada tingkat yang lebih rendah, emisi nitrogen oksida.” Komentar sebelumnya mengenai emisi pembangkit listrik yang terkait dengan produksi listrik untuk penggunaan kendaraan listrik sama-sama berlaku untuk polusi udara karena merupakan produksi gas rumah kaca. Selain itu, mengalihkan beban ke pembangkit listrik tenaga batu bara untuk produksi listrik kendaraan listrik memiliki efek berikut:

- Memfokuskan “scrubber” cerobong asap dan kontrol wajib lainnya di lokasi stasioner yang jauh lebih dapat dikontrol daripada pipa knalpot kendaraan mesin pembakaran internal.
- Mengalihkan emisi otomotif dari daerah padat penduduk ke daerah terpencil dan berpenduduk sedikit di mana banyak pembangkit listrik tenaga batu bara berada.
- Mengalihkan emisi otomotif ke malam hari (ketika sebagian besar kendaraan listrik akan diisi ulang) ketika lebih sedikit orang yang terpapar dan emisi lebih kecil kemungkinannya untuk bereaksi di atmosfer dengan sinar matahari untuk menghasilkan kabut asap dan polutan produk sampingan lainnya.

Kendaraan listrik tidak menghasilkan emisi apa pun dan mengurangi ketergantungan kita pada minyak impor. Terus terang, sampai Anda mendapatkan jumlah mobil listrik yang cukup banyak di jalan hari ini (ratusan ribu hingga jutaan), mereka tidak berdampak pada emisi dari pembangkit listrik.

2.3 Mobil Non Listrik Sumber Polusi Limbah Padat Beracun

Hampir semua yang masuk dan keluar dari mesin pembakaran dalam adalah racun. Selain gas rumah kaca kendaraan mesin pembakaran internal dan keluaran polusi udara beracun, pertimbangkan limbah cairnya (tumpahan bahan bakar, oli, antibeku, gemuk, dll.) dan limbah padat (filter oli-udara-bahan bakar, *muffler*, *catalytic converter*, emisi bagian sistem kontrol, radiator, pompa, busi, dll.) produk sampingan. Ini bukan pertanda baik bagi lingkungan kita, tempat pembuangan sampah kita, atau apapun terutama bila dikalikan dengan ratusan juta kendaraan.

Bagaimana kendaraan listrik dapat membantu? Satu-satunya elemen limbah kendaraan listrik adalah baterainya. Misalnya, baterai timbal-asam -jenis yang umum tersedia saat ini- 99,99% dapat didaur ulang. Dalam memproses banyak ton per hari, hampir setiap ons

diperhitungkan. Ini berarti 99,99% dari semua baterai tersebut dan produk yang masuk ke dalamnya (asam sulfat, timah, dan bahkan plastik wadahnya) dapat dipulihkan.

2.3.1 Polusi Beracun

Ingat, hampir semua yang masuk dan keluar dari mesin pembakaran dalam adalah racun. Bahan bakar dan oli yang Anda masukkan ke dalam mesin pembakaran internal, uap bahan bakar di pompa (dan yang terkait dengan ekstraksi, pemurnian, pengangkutan, dan penyimpanan bahan bakar), dan antibeku yang Anda gunakan dalam sistem pendinginnya semuanya beracun dan/atau karsinogenik, sebagai studi cepat label pompa dan wadah akan menunjukkan. Di sisi keluaran, saat membakar batu bara, minyak, gas, atau bahan bakar fosil apa pun, Anda menciptakan lebih banyak masalah baik dengan jumlah karbon dioksida atau jenis emisi beracun lainnya yang dihasilkan.

Segala sesuatu yang Anda tuangkan ke dalam mesin pembakaran internal beracun, tetapi beberapa bahan kimia sangat jahat. Selain lebih dari 200 senyawa pada daftar awal berbahaya, amandemen Undang-Undang Udara Bersih tahun 1990 mengatakan:

"... studi harus fokus pada kategori emisi yang menimbulkan risiko terbesar bagi kesehatan manusia atau tentang ketidakpastian signifikan yang tersisa, termasuk emisi benzena, formaldehida dan 1, 3 butadiena."

Mengotori lingkungan seperti dalam bencana tumpahan minyak Exxon Valdez tahun 1990-an adalah satu hal. Keracunan air minum adalah hal lain. Lubang-lubang besar di tanah dekat pompa bensin lingkungan di mana-mana (karena mereka terburu-buru untuk mematuhi peraturan federal mengenai tingkat kebocoran tangki penyimpanan bensin yang dapat diterima) membuat intinya. Begitu juga penarikan kembali jutaan botol air minum Perrier di mana hanya tingkat kecil kontaminasi benzena yang terlibat.

Bagaimana kendaraan listrik dapat membantu? Satu-satunya zat yang Anda tuangkan ke dalam kendaraan listrik Anda sesekali adalah air (sebaiknya suling).

2.3.2 Limbah Panas Akibat Inefisiensi

Meskipun bentuknya yang sekarang mewakili evolusi tertinggi hingga saat ini, mesin pembakaran internal bertenaga bensin diklasifikasikan di antara perangkat mekanis yang paling tidak efisien di planet ini. Mesin pembakaran internal mendekati efisiensi 20%. Efisiensi motor DC Advance berjalan antara 80 dan 90%, terkadang lebih rendah.

Pada kendaraan berbahan bakar bensin, hanya 20% energi pembakaran menjadi energi mekanik; sisanya menjadi panas yang hilang dalam sistem mesin. Dari 20% energi mekanik:

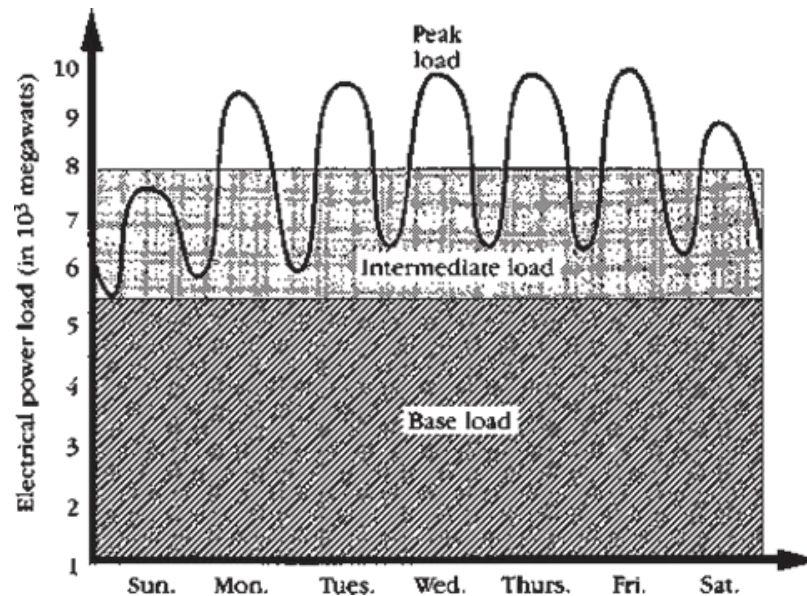
- Sepertiga mengatasi hambatan aerodinamis (energi berakhir sebagai panas di udara).
- Sepertiga mengatasi gesekan gelinding (energi berakhir sebagai ban yang dipanaskan).
- Sepertiga daya akselerasi (energi berakhir sebagai panas di rem).

Berbeda dengan ratusan bagian mesin pembakaran internal yang bergerak, motor listrik hanya memiliki satu. Itu sebabnya mereka sangat efisien. Efisiensi motor listrik saat ini biasanya 90% atau lebih. Hal yang sama berlaku untuk pengontrol *solid-state* saat ini (tanpa bagian yang bergerak), dan baterai timbal-asam saat ini mencapai 75% atau lebih. Menggabungkan semua ini dan Anda memiliki efisiensi kendaraan listrik yang jauh lebih besar dari apa pun yang mungkin dengan kendaraan mesin pembakaran internal.

2.4 Utilitas Listrik Mobil Listrik

Bahkan proyeksi kendaraan listrik yang paling optimistis menunjukkan hanya beberapa juta kendaraan listrik yang digunakan pada awal abad ke-21. Di sekitar level itu, akan mulai mengurangi masalah strategis minyak, rumah kaca, dan kualitas udara. Tetapi sampai Anda mencapai tingkat populasi motor listrik 10 hingga 20 juta atau lebih, Anda tidak akan memerlukan kapasitas pembangkit listrik tambahan. Ini karena keajaiban leveling beban. Perataan beban berarti bahwa jika kendaraan listrik digunakan pada siang hari dan diisi ulang pada malam hari, mereka memberikan layanan yang baik untuk utilitas listrik lokal mereka, yang kurva permintaannya hampir secara universal terlihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Bagaimana listrik dihasilkan sangat bervariasi dari satu wilayah geografis ke wilayah lain, dan bahkan dari kota ke kota di wilayah Amerika Serikat. Pada tahun 2007, bauran listrik bersih yang dihasilkan oleh utilitas listrik adalah batu bara 48,6 persen, fisi nuklir 19,4 persen, gas alam 21,5 persen, tenaga air 5,8 persen, 1,6 persen dan 2,5 persen untuk panas bumi, matahari, dan angin, dengan sumber lain-lain menyediakan keseimbangan (Sumber: Edison Electric Institute).



Gambar 2.4 Kurva permintaan daya puncak mingguan untuk utilitas besar yang beroperasi dengan faktor beban mingguan sekitar 80%.

Pembangkit listrik yang menghasilkan listrik dengan biaya terendah (batubara dan hidro) digunakan untuk memasok kebutuhan beban dasar, sedangkan permintaan puncak dipenuhi oleh fasilitas pembangkit yang kurang ekonomis (gas dan minyak). (Sumber: Administrasi Informasi Energi).

Dengan pemilik mengisi ulang kendaraan listrik mereka di malam hari (periode lembah), mereka menerima manfaat dari tarif listrik di luar jam sibuk (biasanya lebih rendah). Dengan meninggikan lembah dan meningkatkan permintaan beban dasar, utilitas listrik dapat lebih efisien memanfaatkan kapasitas pembangkit yang ada. Ini adalah keuntungan ekonomi jangka pendek yang luar biasa untuk utilitas listrik kami karena ini mewakili pasar baru untuk penjualan listrik tanpa tambahan biaya aset modal terkait.

2.5 Kesimpulan

Kepemilikan kendaraan listrik adalah langkah pertama terbaik yang dapat Anda ambil untuk membantu menyelamatkan planet ini. Tapi masih ada lagi yang bisa Anda lakukan. Kerjakan pekerjaan rumah Anda. Tulis Senator atau Anggota Kongres Anda. Suarakan pendapat Anda. Terlibat dengan isu-isu. Tapi jangan puas dengan jawaban yang mengatakan kami akan mempelajarinya dan menghubungi Anda kembali. Selesaikan hanya untuk tindakan siapa yang akan melakukan apa, kapan dan mengapa. Saya meninggalkan Anda dengan pernyataan kembali masalah, kerangka kerja yang mungkin untuk solusi, dan beberapa bahan tambahan untuk dipikirkan.

2.5.1 Warisan Mobil Non Listrik ialah Pencemaran Lingkungan

Teknologi mesin pembakaran internal dan bahan bakar harus diberi harga untuk mencerminkan biaya sosialnya yang sebenarnya, bukan hanya biaya ekonominya, karena masalah lingkungan yang ditimbulkannya:

- Ketergantungan kita pada minyak asing dan masalah risiko keamanan selanjutnya
- Masalah rumah kaca
- Masalah kualitas udara di kota-kota kita
- Masalah limbah beracun
- Masalah cairan masukan beracun
- Masalah inefisiensi

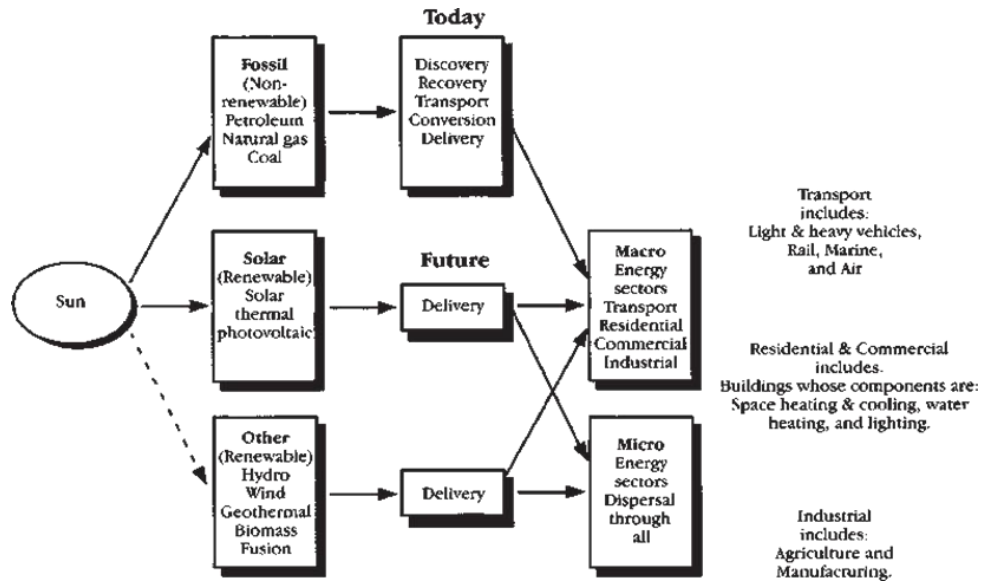
Biaya bensin kita harus mencerminkan biaya kita untuk mempertahankan sumber minyak asing, membalikkan efek rumah kaca, dan memecahkan masalah kualitas udara. Yang terbaik dari semuanya, biaya bensin kita harus mencakup pendanaan yang cukup besar untuk penelitian pembangkit energi surya (dan sumber terbarukan lainnya) dan teknologi kendaraan listrik dua hadiah yang paling menguntungkan lingkungan dan menjanjikan secara teknologi yang dapat kita berikan kepada generasi mendatang.

2.5.2 Solusi Yang Proaktif

Orang-orang yang tinggal di Amerika Serikat telah sangat beruntung untuk sebagian besar sejarah negara kita. Namun dan lebih dari sebelumnya, kita memiliki masalah dengan udara bersih, sumber daya alam kita, pemerintahan yang tidak stabil, biaya energi yang mahal, dan sementara memiliki standar hidup yang nyaman dan sejati yang tidak ada duanya di negara lain di planet ini. Tapi tidak ada yang menjamin generasi masa depan kita akan menikmati hak kesulungan yang sama. Padahal, jika kita melipat tangan ke belakang dan menjauh dari masalah lingkungan saat ini, kita jamin anak-anak kita dan anak-anak kita tidak akan menikmati standar hidup yang sama dengan kita. Demi anak-anak kita, kita tidak bisa pergi begitu saja, kita harus melakukan sesuatu. Kita harus menyelesaikan masalah secara langsung, mencabutnya sampai ke akar-akarnya, dan menggantinya dengan solusi.

Gambar 2.5 menunjukkan pendekatan yang mungkin. Kita perlu melihat hasil yang diinginkan pada pertengahan abad ke-21 dan bekerja mundur -baik dari sisi penawaran maupun permintaan- untuk melihat apa yang harus kita mulai lakukan hari ini. Jelas, sudah waktunya untuk perubahan besar-besaran, tetapi kita semua harus menginginkannya dan bekerja keras untuk mewujudkannya. Tidak ada yang harus terluka oleh perubahan jika mereka menjadi bagian dari perubahan. Pembuat mobil dapat membuat kendaraan yang lebih efisien. Pemasok dapat menyediakan suku cadang baru sebagai pengganti yang lama. Industri petrokimia dapat mengubah campurannya untuk memasok lebih sedikit minyak mentah seperti minyak dan gas

dan lebih banyak sebagai bahan baku yang digunakan dalam pembuatan kendaraan, rumah, jalan, dan jutaan barang berguna lainnya. Jauh sebelum hal-hal ini terjadi, Anda dapat melakukan bagian Anda dengan membangun kendaraan listrik Anda sendiri.



Gambar 2.5 Model penggunaan energi masa depan yang seimbang dimungkinkan dengan bekerja dari tujuan yang diinginkan di masa depan kembali ke hari ini.

BAB III SEJARAH MOTOR LISTRIK

*“Preseden mengatakan, itu tidak bisa dilakukan.
Pengalaman mengatakan, sudah selesai.”
—Darwin Gross, Kunci Universal*

Ironisnya, motor listrik ada sebelum kendaraan mesin pembakaran internal dan juga akan ada setelah mereka. Kedua jenis kendaraan tersebut akan hidup berdampingan untuk beberapa waktu ke depan. Dalam bab ini Anda akan belajar tentang sejarah motor listrik, kekuatan yang membentuk kehancuran mereka, tren yang memaksa kebangkitan mereka, dan peran positif luar biasa yang menunggu di masa depan.

Sementara teknologi modern telah membuat kendaraan listrik menjadi lebih baik, hanya ada sedikit hal baru dalam teknologi kendaraan listrik. Komponen motor listrik hari ini akan langsung dikenali pada komponen yang berlalulalang di jalan-jalan kita seabad yang lalu. Sebagai pembuat atau konverter motor listrik yang potensial, Anda seharusnya senang mengetahui bahwa motor listrik memiliki warisan yang panjang dan sangat menjanjikan, Anda bahkan mungkin mendapatkan beberapa ide bangunan yang berguna dengan melihat motor listrik antik paling awal di museum mobil.

Sebelum masuk ke area yang akan membuat mobil listrik terdengar seperti sesuatu yang baru, mari kita selidiki secara singkat beberapa fakta sejarah dasar tentang kendaraan listrik:

- Motor listrik datang sebelum mesin pembakaran dalam.
- Kendaraan listrik telah ada sejak pertengahan 1800-an, diproduksi dalam jumlah besar pada akhir 1800-an dan awal 1900-an, dan menurun hanya dengan munculnya dan ketersediaan bensin murah yang siap pakai.
- Meskipun demikian, cabang kendaraan listrik contohnya bus rel, troli, kereta bawah tanah, dan kereta api, terus melayani dalam kapasitas angkutan massal hingga saat ini karena keandalan dan efisiensinya yang lebih besar.

Salah satu pencapaian transportasi listrik terbesar yang pernah saya lihat adalah bahwa sebagian besar kereta bawah tanah dan kereta api Metropolitan Transportation Authority (MTA) bertenaga listrik. Sedikitnya jumlah kereta di armada MTA bertenaga diesel. Selain itu, MTA semakin banyak bergeser dari gas alam terkompresi ke bus transit listrik hibrida. Meskipun tidak 100 persen listrik, ini membuktikan bahwa penggerak listrik lebih bersih dan lebih hemat bahan bakar daripada sekadar bahan bakar alternatif.

Kombinasi baterai dan motor listrik yang dipinjam dari kendaraan listrik era "kebaruan" hingga tahun 1915 dan diterapkan sebagai motor starter untuk mesin pembakaran dalam bertanggung jawab atas peningkatan besar popularitas kendaraan mesin pembakaran dalam. Sistem motor

starter yang digunakan di semua kendaraan mesin pembakaran internal saat ini hampir tidak berubah dari konsep awal tahun 1920-an.

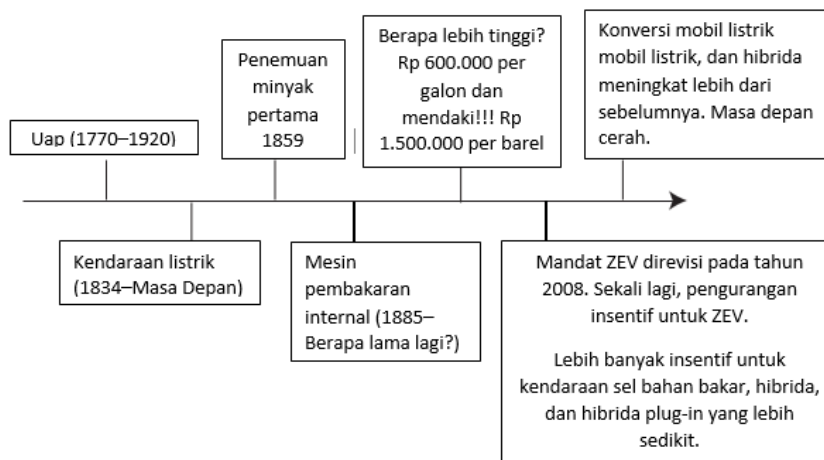
Kendaraan listrik baterai juga sangat populer di beberapa aplikasi jarak terbatas. Forklift telah menjadi kendaraan listrik baterai (BEV) sejak awal 1900-an dan forklift listrik masih diproduksi. Kereta golf BEV telah tersedia selama bertahun-tahun. Kereta golf telah menyebabkan munculnya kendaraan listrik lingkungan (NEVs) atau kendaraan kecepatan rendah (LSVs), yang kecepatannya dibatasi pada 25 mph, tetapi legal untuk digunakan di jalan umum. NEV terutama ditawarkan oleh perusahaan mobil selama akhir Mandat CA Zero Emission Vehicle (ZEV). Pada Juli 2006, ada antara 60.000 dan 76.000 kendaraan kecepatan rendah, kendaraan bertenaga baterai yang digunakan di AS, naik dari sekitar 56.000 pada tahun 2004 menurut perkiraan Asosiasi Transportasi Penggerak Listrik. Bahkan, di akhir masa jabatan saya di New York Power Authority, saya mengelola program donasi LSV dari Ford dan Chrysler (GEM) untuk lebih dari 250 kendaraan. Saya percaya beberapa ribu kendaraan disumbangkan oleh perusahaan mobil untuk menerima kredit ZEV untuk jumlah kendaraan listrik yang ditempatkan di jalan pada tahun 2003.

Pada akhir 1930-an, industri mobil listrik telah benar-benar menghilang, dengan traksi baterai-listrik terbatas pada aplikasi khusus, seperti kendaraan industri tertentu.

Penemuan transistor titik-kontak tahun 1947 menandai dimulainya era baru teknologi BEV. Dalam satu dekade, Henney Coachworks telah bergabung dengan National Union Electric Company, pembuat baterai Exide, untuk memproduksi mobil listrik modern pertama berdasarkan teknologi transistor, Henney Kilowatt, yang diproduksi dalam konfigurasi 36 volt dan 72 volt. Model 72 volt memiliki kecepatan tertinggi mendekati 96 km/jam (60 mph) dan dapat menempuh hampir satu jam dengan sekali pengisian daya. Meskipun kepraktisan Henney Kilowatt lebih baik dibandingkan mobil listrik sebelumnya, harganya terlalu mahal dan produksi dihentikan pada tahun 1961. Meskipun Henney Kilowatt tidak pernah mencapai volume produksi massal, teknologi listrik berbasis transistor mereka membuka jalan bagi motor listrik modern.

3.1 Sejarah Mobil

Mempelajari sejarah kendaraan mirip dengan melihat fenomena ekonomi apapun. iPod adalah contoh yang baik. iPod pertama adalah hal baru; seperseratus menciptakan keinginan kuat untuk memilikinya. Pada sepersepuluh ribu, Anda memiliki satu; pada sepersejuta, kebaruan telah memudar; dan setelah seperseratus juta, mereka dianggap ada di mana-mana. Hal yang sama dengan kendaraan—peristiwa masa lalu mengubah iklim latar belakang dan memengaruhi keinginan dan kebutuhan konsumen saat ini. Model inovatif tahun 1910-an adalah clunker yang ketinggalan zaman di tahun 1920-an. Mobil otot tahun 1960-an adalah anakronisme pada tahun 1970-an. Kendaraan yang dulu banyak diminati kini hanya menjadi barang rongsokan karena keinginan dan kebutuhan konsumen berubah.



Gambar 3.1 Sejarah kendaraan listrik.

Gambar 3.1 mungkin cukup rumit, tetapi mempelajarinya memberi Anda petunjuk tentang naik turunnya tiga jenis kendaraan dalam satu gambar (uap, listrik, pembakaran internal) ditambah hubungan timbal balik di antara ketiganya selama tiga tahap sejarah kendaraan. Gambar 3.1 menunjukkan bahwa uap telah digunakan sebagai sumber tenaga kendaraan tetapi kendaraan listrik, yang dominan di daerah perkotaan pada pergantian abad, kembali disukai karena mayoritas negara industri dunia menjadi “berkota”, tetapi bahan bakar berbasis minyak bumi menjadi lebih mahal dan ketersediaannya lebih tergantung secara politis.

Hampir 100 "tahun emas" kendaraan mesin pembakaran internal, yang membanjiri penawaran uap dan listrik awal dalam gelombang harga bensin murah dan menawarkan kemampuan untuk melakukan perjalanan di mana tidak ada trek, menurun. Perlu dicatat, bagaimanapun, bahwa tren ini telah dimainkan dan dimulai berulang kali selama beberapa dekade terakhir, paling menonjol pada 1990-an, ketika kendaraan listrik dibuat sebagai tanggapan terhadap Mandat Kendaraan Tanpa Emisi California tetapi sebagian besar direklamasi dan dihancurkan oleh pembuat mobil beberapa tahun kemudian. Sementara kita berada di puncak melihat kendaraan listrik dan hibrida *plug-in* dibangun, masih harus dilihat bagaimana teknologi ini akan bermain secara politik dan di pasar.

Sekilas tentang sejarah kendaraan listrik sangat membantu dalam memahami mengapa kendaraan listrik datang, pergi, dan kembali lagi.

3.2 Sejarah Mobil Listrik

Mesin uap datang pertama, diikuti oleh motor listrik, dan akhirnya oleh mesin pembakaran internal. Kedekatan deposit batu bara dan besi di garis lintang utara yang kemudian dikenal sebagai negara industri —Amerika Serikat, Eropa/Inggris, dan Asia— membuat mesin uap praktis. Ekonomi pasca-revolusi industri yang berkembang pesat yang disediakan oleh

mesin uap menciptakan iklim untuk penemuan listrik. Perangkat listrik memungkinkan mesin pembakaran internal. Kendaraan yang ditenagai oleh mereka mengikuti urutan pengembangan yang sama.

3.2.1 Tahun sebelum 1900 sampai 1915

Periode ini menandai transisi dari era "kebaruan" (kebanyakan pengamat kagum bahwa perangkat ini benar-benar berfungsi) ke era "praktis", di mana pembeli awal hanya menginginkan kendaraan untuk pergi dari satu titik ke titik lain dengan kerumitan minimal, dan akhirnya ke era "produksi". Di era produksi, setelah hampir 3.000 produsen kendaraan datang dan pergi, para penyintas jatuh ke dalam dua kubu—mereka yang mampu menghasilkan keuntungan dengan melayani kebutuhan khusus dengan harga pasar yang tinggi, dan mereka yang menawarkan solusi standar dengan harga pasar yang rendah. Penawaran uap dan listrik diliputi oleh dominasi minyak dan bensin murah dan hampir menghilang sebagai pesaing kendaraan mesin pembakaran internal setelah tahun 1915.

Fenomena yang sama yang membuat ketel teh yang dipanaskan di atas kompor Anda bersiul, ketika dimanfaatkan dengan tepat, membuat mesin uap menyala. "Huffing and puffing" yang terkait dengan lokomotif kereta api uap tidak ada di mobil uap yang berbisik-diam, namun mereka sama-sama kuat untuk satu pon. Namun, Anda masih perlu memanaskan air, yang berarti membakar sesuatu, dan jika Anda tidak terus-menerus memantau tekanan uap ketel, semuanya bisa meledak.

Mesin uap James Watt tahun 1765—yang secara luas diakui bertanggung jawab atas revolusi industri—hanya merupakan perbaikan pada mesin Thomas Newcomen tahun 1712 yang, pada gilirannya, dibangun di atas desain kuno tahun 1690 yang lebih primitif dari Denis Papin, Christian Huygens, dan Robert Boyle, dan paten awal Thomas Savery pada tahun 1698. Teknologi uap diterapkan pada kendaraan darat pertama—traktor Nicolas Cugnot—pada tahun 1770, pada kapal uap oleh John Fitch pada tahun 1787, dan pada lokomotif rel oleh Richard Trevithick pada tahun 1804.

Sementara traktor uap Cugnot jauh dari mobil Stanley Steamer pada awal 1900-an (versi ramping dari yang terakhir menetapkan rekor kecepatan darat pada 122 mph pada tahun 1906), dan masih jauh dari mobil uap Lear kinerja tinggi dari beberapa dekade yang lalu, masalah dengan kendaraan uap tetap uap. Air membutuhkan banyak panas untuk menjadi uap, dan membeku pada suhu dingin. Untuk menyiasatinya dan masalah "waktu untuk memulai" dasar, kompleksitas teknis diperkenalkan dalam bentuk cairan eksotis untuk menahan penguapan dan kondensasi berulang, dan logam eksotis untuk boiler, katup, pemipaan, dan pemanas ulang yang lebih canggih.

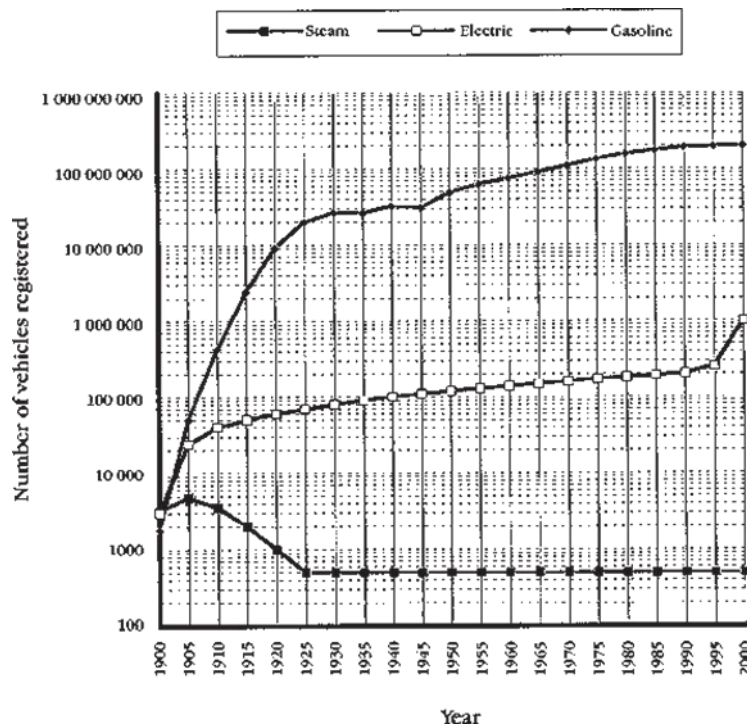
Gambar 3.2 menunjukkan populasi kendaraan uap, listrik, dan pembakaran dalam di Amerika Serikat dari tahun 1900 hingga 2000. Kendaraan bertenaga uap, yang populer di akhir tahun 1800-an, menurun demi dua jenis kendaraan lainnya setelah awal 1900-an. Kendaraan listrik menikmati pertumbuhan dan popularitas yang cepat hingga sekitar tahun 1910, kemudian menurun secara perlahan hingga kebangkitannya yang singkat pada tahun 1990-an. Kendaraan bertenaga mesin pembakaran internal melewati uap dan listrik pada awal 1900-an. Lebih dari faktor lainnya, jumlah minyak domestik (dan kemudian asing) yang murah dan hampir tidak terbatas, yang menjaga harga bensin antara 10 dan 20 sen per galon dari tahun 1900 hingga 1920, menekan minat pada alternatif untuk kendaraan mesin pembakaran internal hingga lebih dari 50 tahun kemudian (tahun 1970-an).

Pada awal 1900-an, kendaraan uap tidak diragukan lagi menawarkan kelancaran, keheningan, dan akselerasi. Tetapi pemberhentian untuk air biasanya lebih sering daripada pemberhentian untuk minyak tanah, dan desain kapal uap membutuhkan kerumitan tambahan dan urutan penyalaan yang panjang. Sementara 40 persen kendaraan yang dijual pada tahun 1900 adalah uap (38 persen adalah listrik), listrik menawarkan kesederhanaan, keandalan, dan kemudahan pengoperasian, sementara kendaraan bensin menawarkan jangkauan dan efisiensi bahan bakar yang lebih besar. Jadi kapal uap menurun, dan hanya segelintir yang beroperasi hari ini. (Catatan: Saya akan memperdebatkan masalah efisiensi bahan bakar di bab-bab selanjutnya.)

Listrik ada dimana-mana. Di satu tempat menyalakan pabrik, di tempat lain menyampaikan pesan, dan di tempat ketiga menggerakkan kendaraan listrik. Listrik dapat diangkut—dapat dihasilkan di lokasi berbiaya rendah dan dengan mudah dikirim sejauh ratusan mil ke tempat yang membutuhkannya. Baterai penyimpanan, diisi dari listrik yang disediakan oleh stopkontak yang nyaman, dapat dengan andal membawa listrik untuk menyalakan mobil di mana saja, atau memberi daya pada kendaraan listrik. Siapa yang tahu (atau peduli) bahwa roda kendaraan Anda berputar karena listrik dihasilkan dari air yang memutar roda turbin yang terhubung ke generator? Kami menerima listrik begitu saja hari ini dan terus mengembangkan penggunaan baru untuknya, terutama karena kelebihanannya—bersih, sederhana, tersedia, dan andal. Tetapi warisan kelistrikan modern kita berhutang banyak kepada banyak perintis.

Alessandro Volta, berdasarkan eksperimen Luigi Galvani pada tahun 1782, menemukan baterai listrik—"tumpukan volta" miliknya—pada tahun 1800. Joseph Henry, yang membangun eksperimen Han Christian Oersted pada tahun 1819 dan Andre Ampere pada tahun 1820, menciptakan primitif pertama motor listrik arus searah (DC) pada tahun 1830. Michael Faraday mendemonstrasikan prinsip induksi dan generator DC listrik pertama pada tahun 1831. Teknologi listrik bertenaga baterai

diterapkan pada kendaraan darat pertama oleh Thomas Davenport pada tahun 1834, pada perahu kecil oleh MH Jacobi pada tahun 1834, dan untuk lokomotif bertenaga baterai pertama bernama “Galvani” seberat lima ton oleh Robert Davidson pada tahun 1838.

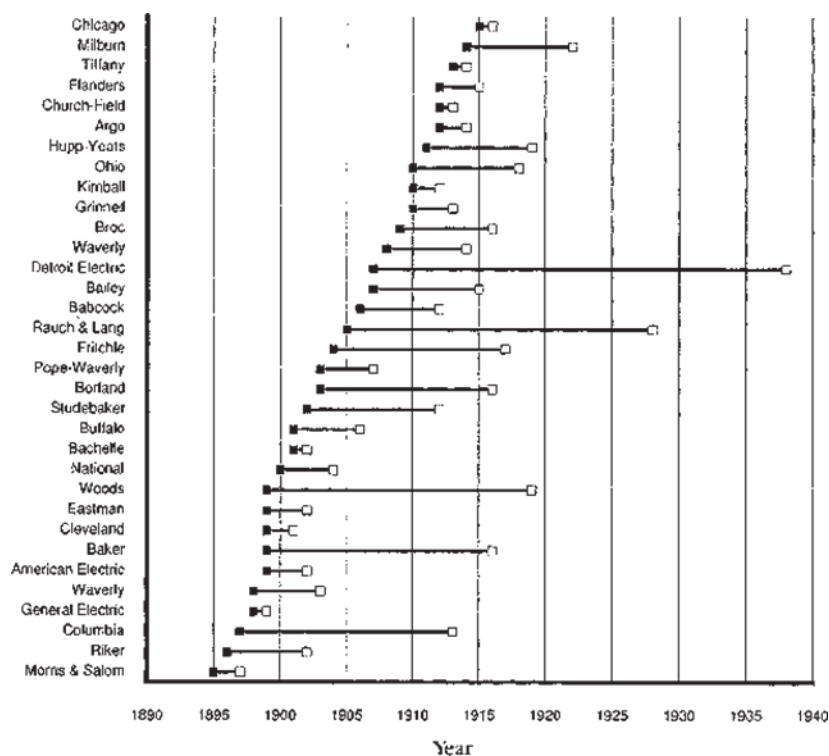


Gambar 3.2 Pertumbuhan ketiga jenis kendaraan di Amerika Serikat dari tahun 1900 hingga 2000.

Moses Fanner meluncurkan mobil listrik dua penumpang pada tahun 1847, dan Charles Page memamerkan mobil listrik 20 mph pada tahun 1851, tetapi terobosan baterai "isi ulang" asam timbal Gaston Plante pada tahun 1859—ditingkatkan oleh Camille Favre pada tahun 1881 dan H. Tudor pada tahun 1890—membuka jalan bagi penggunaan kendaraan listrik yang diperpanjang. Motor induksi arus bolak-balik (AC) Nikola Tesla tahun 1882 dan paten polifase berikutnya membuka jalan bagi infrastruktur distribusi daya listrik AC yang kita gunakan saat ini. Pada tahun 1890-an, distribusi daya DC melalui dinamo telah digunakan selama satu dekade. Distribusi daya AC dimulai dengan pemberian kontrak pembangkit listrik Air Terjun Niagara tahun 1896 kepada George Westinghouse (paten Nikola Tesla) setelah pertempuran singkat namun intens dengan pasukan DC Thomas Edison.

Gambar 3.3 menunjukkan penampang produsen kendaraan listrik Amerika Serikat yang lebih terkemuka yang beroperasi dari tahun 1895 hingga 1930-an. Pada tahun 1912, tahun produksi puncak untuk listrik awal, 34.000 mobil terdaftar. Panduan Pembaca untuk daftar Sastra Berkala menceritakan kisahnya. Setengah halaman

artikel majalah yang terdaftar dalam volume 1890 hingga 1914 menyusut menjadi seperempat halaman pada tahun 1915–18 dan menghilang sama sekali pada volume 1925–28.



Gambar 3.3 Produsen kendaraan listrik terkemuka di Amerika Serikat dari tahun 1895 hingga 1930-an.

Keberhasilan awal kendaraan listrik di daerah perkotaan mudah dipahami. Sebagian besar jalan beraspal berada di daerah perkotaan; listrik tersedia dengan nyaman; jarak perkotaan pendek; batas kecepatan rendah; dan keamanan, kenyamanan, dan kemudahan adalah pertimbangan pembelian utama. Keheningan, kemudahan mengemudi, dan keandalan yang tinggi menjadikan motor listrik alami dengan set perkotaan yang kaya pada umumnya dan wanita kaya pada khususnya. Clara Bryant Ford (Mrs. Henry Ford) dapat memiliki mobil apa pun yang dia inginkan, tetapi dia memilih Detroit Electric yang sekarang dipamerkan di Henry Ford Museum (ditunjukkan pada Gambar 3.4) untuk berkeliling kawasan Ford Park Lane dan menjalankan tugas. Kendaraan listrik 1889-vintage Thomas Edison adalah platform uji untuk eksperimen baterai nikel-besi yang dapat diisi ulang. Kemudian, baterai nikel-besi Edison masuk ke Bailey Electric dan banyak listrik lainnya. Edison memiliki kendaraan listrik Studebaker pribadinya, dan baik dia maupun Henry Ford sangat mendukung motor listrik. Pada suatu waktu keduanya berencana untuk mengeluarkan mobil listrik ringan seharga Rp 11.250.000 yang akan disebut Edison-Ford.



Gambar 3.4 Detroit Electric Mrs. Henry Ford sekarang dipajang di Museum Henry Ford.

Kendaraan listrik juga mendominasi armada pengiriman komersial di daerah perkotaan di seluruh dunia. Department store, perusahaan pengiriman ekspres, kantor pos, utilitas, dan perusahaan taksi di New York, Chicago, London, Paris, dan Berlin menggunakan ribuan kendaraan listrik. Keandalan yang tinggi (99 persen dari ketersediaan 300 hari kerja selama setahun) dan perawatan yang rendah menjadi ciri motor listrik komersial dan menjadikannya favorit armada.

Di departemen kinerja motor listrik, tipikal 2.500-lb. mobil melaju 20 hingga 30 mph, dan menempuh jarak 50 hingga 60 mil dengan pengisian baterai. Truk setengah ton melaju 10 hingga 15 mph dan memiliki jangkauan 40 hingga 50 mil. Truk sepuluh ton melaju 5 hingga 10 mph dan memiliki jangkauan 30 hingga 40 mil. Sebuah kendaraan listrik memecahkan rekor kecepatan darat pertama. Camille Jenatton "Jamais Contente" (kendaraan ramping yang ditenagai oleh dua motor listrik 12-hp yang dikendarai dengan ban berdiameter 25 inci) melaju 66 mph pada bulan April 1899 — rekor yang bertahan selama tiga tahun hingga dipecahkan oleh "Torpedo" Baker Electric" pada tahun 1902 dengan kecepatan 78 mph, dan kemudian oleh "Torpedo Kid" pada tahun 1904 dengan kecepatan 104 mph. Pada tahun 1900, B.G.S. Mobil listrik perusahaan menetapkan rekor jarak listrik dunia 180 mil per pengisian.

Versi 1915 mobil Clara Ford, Detroit Electric yang ditenagai oleh motor DC 5,5-hp yang digerakkan pada 72 volt, ketika diuji ulang 60 tahun kemudian (dengan baterai

baru) oleh Machine Design Magazine, masih menghasilkan 25 mph dan jangkauan 80 mil. Itu masih direkomendasikan oleh majalah sebagai "pembelian terbaik", membuktikan bahwa kita dapat secara rutin mengharapkan masa pakai yang lama dari mesin listrik. Sementara mobil listrik adalah pemandangan umum sampai pertengahan 1910-an, dan mobil listrik komersial dan industri telah menikmati pertumbuhan dan kesuksesan yang berkelanjutan hingga hari ini, minyak murah yang dikombinasikan dengan non-listrik di daerah pedesaan memastikan kemenangan untuk kendaraan mesin pembakaran internal. Ironisnya, itu adalah motor dan baterai kendaraan listrik, yang diadaptasi sebagai starter listrik untuk kendaraan mesin pembakaran internal oleh Charles Kettering pada tahun 1912, yang mengantarkan kudeta yang menghancurkan ke mobil listrik awal.

Kisah kendaraan pembakaran internal terkait erat dengan kisah minyak itu sendiri, tetapi peningkatan popularitas mesin pembakaran internal lebih disebabkan oleh keuntungan ekonomi yang besar dari minyak daripada keuntungan teknis dari mesin pembakaran internal. Saat ini, dengan Amerika Serikat dan negara-negara industri lainnya secara substansial bergantung pada minyak asing, kerugian ekonomi strategis minyak ditambah dengan kerugian lingkungan dari mesin pembakaran internal telah menciptakan argumen yang kuat untuk solusi alternatif. Mari kita periksa bagaimana situasi ini diciptakan.

Minyak hewani telah digunakan selama berabad-abad untuk memberikan penerangan. Minyak batu (disebut demikian untuk menunjukkan bahwa mereka berasal langsung dari tanah, dan nama asli untuk minyak mentah atau minyak bumi) dibayangkan pada tahun 1850-an hanya sebagai alternatif unggul untuk penerangan dan pelumasan di zaman mekanis yang akan datang. Para peneliti sebelumnya telah menemukan bahwa minyak penerangan berkualitas, minyak tanah, dapat diekstraksi dari batu bara atau minyak batu. Batubara ada dalam jumlah yang melimpah. Yang tersisa hanyalah menemukan sumber minyak mentah/minyak bumi yang substansial.

Penemuan minyak di Pennsylvania Barat oleh Edwin Drake pada tahun 1859 adalah percikan yang memicu revolusi minyak. Hampir dalam semalam, ledakan minyak Pennsylvania, dengan produk sampingannya diekspor secara global, menjadi sangat penting bagi perekonomian Amerika Serikat. Janji kekayaan luar biasa memberikan dorongan yang menarik pikiran bisnis terbaik zaman ke pencarian. Segera bisnis minyak, yang didominasi oleh minyak tanah, dikendalikan oleh monopoli di seluruh dunia dari Standard Oil John Rockefeller (produksi/distribusi dari Pennsylvania di Amerika Serikat), Ludwig dan Robert Nobel (produksi dari Baku di Laut Kaspia Rusia), Alphonse dan Edmond Rothschild (produksi dari Baku, distribusi dari Batum di Laut Hitam Rusia), Shell (produksi dan distribusi kapal tanker dari Batum/Bomeo ke Inggris dan Timur Jauh), dan Royal Dutch (produksi dari timur laut Sumatra di Indonesia).

Monopoli ini, yang sudah ada sebelum tahun 1900-an, semuanya didasarkan pada pasar minyak sebagai produk minyak tanah dan pelumas. Pada tahun 1890-an, bensin, sekali dibuang setelah minyak tanah diperoleh, beruntung membawa dua sen per galon, tapi itu akan berubah.

Batubara adalah dasar untuk revolusi industri, dan mesin pembakaran internal pertama yang dibangun pada tahun 1860 oleh Etienne Lenoir menggunakan gas batubara. Nikolaus Otto memperbaiki desain dengan pendekatan empat siklus pada tahun 1876. Namun penemuan bahwa bensin adalah bahan bakar yang bahkan lebih “mudah terbakar” yang juga murah, berlimpah, dan kuat adalah percikan yang memicu revolusi mesin pembakaran internal. Yang tersisa hanyalah mengendalikan campuran bensin-udara yang eksplosif—diselesaikan oleh desain karburator Gottlieb Daimler tahun 1885—dan mengendalikan waktu—dipecahkan oleh desain pengapian busi-busi yang disempurnakan oleh Karl Benz pada tahun 1885—untuk mesin pembakaran internal seperti yang kita tahu hari ini untuk muncul.

Kendaraan pembakaran internal awal berisik, sulit untuk belajar mengemudi, sulit untuk memulai, dan rentan terhadap ledakan (backfiring) yang dikategorikan berbahaya dalam persaingan iklan uap dan listrik. Penawaran kendaraan pembakaran internal dari Daimler (Jerman, 1886), Benz (Jerman, 1888), Duryea (Amerika Serikat, 1893),

Peugeot (Prancis, 1894), dan Bremer (Inggris, 1894) adalah pencapaian rekayasa primitif dalam mencari ceruk pemasaran, sementara listrik tubuh tertutup kontemporer, yang ditargetkan pada perdagangan kereta perkotaan elit, dijual cepat seharga Rp 75.000.000 per salinan.

Ini berubah dengan cepat, mungkin karena inspirasi dari perlombaan Chicago Times-Herald Thanksgiving Day tahun 1895–6, sebuah acara yang diadakan “dengan keinginan untuk mempromosikan, mendorong, merangsang penemuan, pengembangan dan kesempurnaan serta adopsi umum kendaraan bermotor di dunia. Amerika Serikat.” Dimenangkan oleh Frank Duryea, mengendarai gerobak motor Duryea Brothers, itu membawa ketenaran instan ke saudara-saudara tetapi, yang lebih penting, menyatukan sebagian besar perintis otomotif Amerika Serikat untuk pertama kalinya. Hanya tiga tahun kemudian, lebih dari 200 perusahaan telah dibentuk untuk memproduksi mobil.

Bersamaan dengan itu, ketika kendaraan bertenaga pembakaran internal masih beberapa dekade lagi dari dominasi, penemuan ladang Los Angeles pada tahun 1890-an, ladang "Spindletop" di dekat Beaumont, Texas pada Januari 1901, dan ladang

Oklahoma pada awal 1900-an mengalami boom dan bust kali harga satu barel 42 galon minyak mentah (biasanya dari 15 sampai 20 persen dapat diperoleh kembali sebagai bensin) serendah tiga sen per barel. Sementara sistem distribusi listrik DC dan AC menjamin bahwa penerangan listrik akan menggantikan lampu minyak tanah, minyak domestik yang murah, yang menjaga harga bensin antara dua dan sepuluh sen per galon antara tahun 1890 dan 1910, menjamin keberhasilan kendaraan pembakaran internal.

Seperti Rockefeller dengan minyak, Henry Ford adalah individu yang berada di tempat yang tepat (Detroit) pada waktu yang tepat (Oktober 1908) dengan ide yang tepat (Model T Ford) dengan harga yang tepat (Rp 12.750.000 FOB Detroit). Ford tidak pernah menghadiri perlombaan Chicago Times-Herald maupun Pameran Kolumbia Dunia sebelumnya di Chicago yang dibuka pada 1 Mei 1893, tetapi informasi tertulis yang diperoleh dari peristiwa ini tidak diragukan lagi mengilhami ciptaan pertamanya—sepeda roda tujuh 1896. Pada tahun 1908, Henry Ford telah memproduksi banyak desain. Model buatan tangan tahun 1899 dan 1901 mengikuti uadricycle tahun 1896; Model Ford Motor Company A, B, C, F, N, R, S, dan K mendahului T; dan Ford telah memenangkan balapan dengan pembalap Grosse Point-nya pada tahun 1901 dan pembalap Barney Oldfield “999” yang terkenal pada tahun 1902. Tetapi inovasi dari Model T 1909 satu warna yang diproduksi secara massal dengan harga Rp 12.750.000 itulah yang membuat kendaraan pembakaran internal di peta. Empat silinder, 20-hp, 1.200-lb. 1909 Keberhasilan instan Model T menciptakan permintaan besar yang berlangsung hampir 19 tahun; lebih dari 15.000.000 diproduksi hingga produksi dihentikan pada Mei 1927. Dengan memproduksi model yang hampir sama, skala ekonomi manufaktur memungkinkan harga turun dari tahun ke tahun hingga titik terendah sepanjang masa sebesar \$290 pada Desember 1924. Selain harga pembelian yang rendah, keberhasilan Model T juga karena ekonomi operasionalnya. Dua transmisi planetary kecepatan maju/satu mundur dan roda 30 inci (dengan tekanan ban yang disarankan 60 psi) menggerakkan mesin Model T pada 1.000 rpm pada 25 mph dan 1.800 rpm pada 45 mph, menghasilkan jarak tempuh gas yang khas 20 mil per galon ke atas.

Bersamaan dengan itu, integrasi (bersama dengan masalah politik 1905 di Rusia) telah mengkonsolidasikan pasar minyak dunia di tangan dua perusahaan pada tahun 1907: Standard Oil dan Royal Dutch/Shell. Tetapi pada tahun 1911, penyelidikan Standard Oil yang diluncurkan oleh presiden Teddy Roosevelt pada tahun 1904 mengakibatkan pengadilan federal Amerika Serikat menemukan Standard Oil bersalah atas pelanggaran antimonopoli dan memerintahkan pembubarannya menjadi perusahaan yang kita kenal sekarang: Standard Oil of New Jersey (Exxon), Standard Oil of New York (Mobil), Standard Oil of California (Chevron), Standard Oil of Ohio (Sohio-BP/ America), Standard Oil of Indiana (Amoco), Continental Oil

(Conoco), dan Atlantic (ARCO/Sun) . Sementara perpisahan ini pada awalnya menyebabkan satu dekade hidup berdampingan secara damai di antara bekas bagian sekutu, itu juga membuka jalan bagi industri minyak seperti yang kita kenal sekarang, yang didominasi oleh banyak, besar, sangat kompetitif, perusahaan multinasional.

Peristiwa lain pada periode itu juga berkontribusi pada kenaikan dan dominasi minyak: pengenalan "perengkahan termal" oleh Standard Oil of Indiana pada tahun 1913 (proses yang lebih dari dua kali lipat jumlah bensin yang dapat diperoleh dari satu barel minyak mentah, hingga 45%); penemuan minyak di dekat Tampico, Meksiko pada tahun 1910; penemuan minyak di Persia (Iran) yang mengarah pada pembangunan kilang Abadan pada tahun 1912 oleh Anglo-Persia (keputusan "strategis" sebelum Perang Dunia I oleh Winston Churchill memberi pemerintah Inggris, melalui British Petroleum, 51% kepemilikan Anglo -Persia setelah mengalami kesulitan keuangan); dan Perang Dunia I itu sendiri.

Sementara itu, inovator kendaraan mesin pembakaran internal lainnya juga sibuk: Walter Chrysler, John dan Horace Dodge (saudara-saudara yang memulai sebagai pemasok tawanan Ford), dan banyak lainnya memberikan inovasi yang bertahan hingga hari ini. William Durant mendirikan General Motors pada September 1908, dan pada tahun 1920-an divisi utamanya (Buick, Oldsmobile, Cadillac, Oakland, Chevrolet, GM Truck) dan divisi pendukungnya (Fisher Body, Harrison Radiator, Champion Spark Plug, DELCO, Hyatt Roller Bearing , dan lainnya) adalah nama rumah tangga di Amerika Serikat. Sementara Durant memperoleh aset berharga dalam merakit akuisisi general motor di bawah satu payung perusahaan induk, bakat yang diperolehnya (seperti Alfred Sloan dari Hyatt dan Charles Kettering dari Cadillac) yang membuka jalan bagi kebangkitan General motor di kemudian hari untuk mendominasi. Inovasi General motor seperti warna, perampingan, lebih halus, mesin enam silinder yang lebih bertenaga, dan perubahan gaya model tahunan membuat Ford Model T usang, meskipun harga Rp 4.350.000 pada tahun 1924. Kendaraan pembakaran internal sekarang sedang dalam perjalanan.

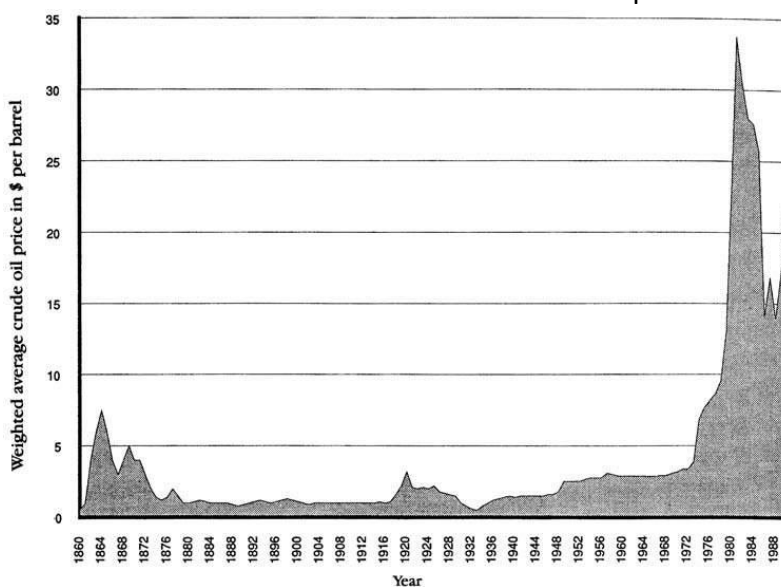
Pada tahun 1900, setengah dari 80 juta orang di Amerika Serikat tinggal di beberapa kota besar (kebanyakan Timur) dengan jalan beraspal, dan setengah lainnya di kota-kota yang dihubungkan oleh jalan tanah atau di pedesaan tanpa jalan sama sekali. Kurang dari 10 persen dari 2 juta mil jalan diaspal. Lebih dari 25 juta kuda dan bagal menyediakan mobilitas bagi massa. Penerangan listrik di kota-kota besar dikerdilkan oleh penggunaan lampu minyak tanah, yang dipopulerkan oleh penemuan minyak dalam jumlah banyak, di pedesaan. Lokomotif mesin uap berbahan bakar batu bara atau kayu berteknologi tinggi. Hanya ada 200.000 mil jalur kereta api, tetapi beberapa di antaranya menyediakan transportasi yang cepat dan efisien antara lokasi utama— New York ke Chicago dengan "Twentieth Century Limited" membutuhkan waktu 20

jam. Sementara tiket kereta api New York-ke-California berharga Rp 750.000, kendaraan dalam bentuk apa pun berharga sekitar Rp 75.000.000 hingga Rp 750.000.000, menempatkan mereka di luar tangan semua orang kecuali orang kaya.

Tiga jenis kendaraan datang ke lingkungan Amerika Serikat pada pergantian abad ini. Hampir 3.000 pabrikan bereksperimen dengan berbagai kombinasi penggerak (uap, listrik, atau mesin pembakaran internal); bahan bakar (air/minyak tanah, baterai, bensin/minyak); pendinginan (udara atau cairan); pemasangan (depan, belakang, atau tengah); penggerak (roda depan atau belakang melalui poros, roda gigi, rantai, atau sabuk); sasis (roda tiga atau empat, suspensi independen, atau pegas daun/koil); dan ban (pneumatik atau padat). Pada saat Perang Dunia I berakhir, kendaraan pembakaran internal telah muncul sebagai pemenang yang jelas.

Zaman Keemasan Pembakaran Internal

Pertumbuhan kendaraan mesin pembakaran internal di Amerika Serikat meledak dengan Perang Dunia I. Setelah Perang Dunia II, pertumbuhan otomotif mesin pembakaran internal dunia bahkan lebih dramatis. Apa yang memungkinkan semua ini adalah ketersediaan minyak yang belum pernah terjadi sebelumnya, dan stabilitas harga relatif yang ditunjukkan pada Gambar 3.5, yang memungkinkan harga bensin Amerika Serikat bergerak dari sekitar Rp 1.500 menjadi Rp 4.500 selama periode 50 tahun ini. Namun dalam hal "dolar nyata" yang disesuaikan dengan inflasi, biaya bensin sebenarnya turun. Apakah mengherankan bahwa tidak ada yang peduli seberapa besar mobil-mobil itu di tahun 1950-an atau berapa banyak bensin yang mereka habiskan di tahun 1960-an? Bensin lebih murah daripada air.



Gambar 3.5 Harga minyak dari tahun 1860 sampai 1990.

Tapi ada juga beberapa masalah: tidak ada penemuan besar sejak ladang Alaska dan Laut Utara dua dekade lalu; meningkatnya kekhawatiran akan pasokan minyak, yang dimulai selama Perang Dunia II; pengenalan energi alternatif nuklir dan gas alam pada 1950-an; dan mengerasnya opini publik dengan meningkatnya frekuensi masalah kabut asap dan kualitas udara, kecelakaan lingkungan minyak dan nuklir, dan guncangan minyak asing. Sudah dipaksa untuk mematuhi standar emisi yang lebih ketat oleh Clean Air Act tahun 1968, kejutan minyak pertama tahun 1973 membuat "tiga besar" produsen mobil Amerika Serikat mereka menurun. Pabrikan mobil Jepang dan Eropa memiliki solusi kendaraan pembakaran internal yang lebih kecil dan lebih hemat bahan bakar sebagai akibat dari harga bensin yang lebih tinggi selama bertahun-tahun (karena pajak yang lebih tinggi yang dialokasikan untuk pembangunan kembali infrastruktur). Pangsa pasar yang hilang oleh tiga besar pembuat mobil asing tidak pernah kembali.

Pada awal 1990-an, pesta minyak liar dari 75 tahun sebelumnya telah berakhir. Masalah lingkungan, perlunya penghematan energi, dan ketidakstabilan pasokan minyak asing semua menandakan bahwa matahari terbenam pada kendaraan pembakaran internal. Itu tidak akan terjadi dalam semalam. Dalam waktu dekat, negara-negara industri di dunia dan negara-negara Dunia Ketiga yang sedang berkembang akan mengkonsumsi minyak asing dalam jumlah yang lebih besar. Tetapi tidak dapat dihindari bahwa pengganti kendaraan pembakaran internal yang menggunakan bahan bakar fosil akan ditemukan.

Pertumbuhan Kendaraan Pembakaran Internal Berbahan Bakar Minyak Murah dan Berlimpah.

Pelajaran dari Perang Dunia I sederhana. Mobil, truk, tank, dan pesawat bermesin pembakaran dalam yang fleksibel dan bertenaga minyak lebih unggul daripada transportasi kereta api tetap bertenaga batu bara; dan mereka yang menguasai pasokan minyak memenangkan perang. Sekutu memiliki Standard Oil, Royal Dutch/Shell, dan Anglo-Persian Oil. Jerman tidak memiliki akses ke minyak dalam jumlah besar; penghancuran kilang minyak Ploesti di Rumania dan usaha mereka yang terlambat dan gagal untuk merebut Baku membuat mereka kalah dalam perang.

Sementara itu, registrasi kendaraan bermesin pembakaran dalam di Amerika Serikat meledak dari setengah juta pada tahun 1910, menjadi 9 juta pada tahun 1920, menjadi 27 juta pada tahun 1930, dan diperlambat oleh depresi, menjadi 33 juta pada tahun 1940. Bensin yang dijual oleh pandai besi lokal dalam peti kemas pada awal 1900-an memberi jalan kepada 10.000 "stasiun pengisian" kayu dengan tangki umpan gravitasi pada awal 1920-an, ke lebih dari 150.000 "stasiun layanan" yang digerakkan oleh tangki/pompa listrik pada 1930-an. Semakin banyak jalan beraspal dibangun; lanskap berubah selamanya. Lebih banyak minyak terus ditemukan pada

tahun 1920-an di tempat-tempat seperti California (Signal Hill), Oklahoma (Seminole lebih besar dan Kota Oklahoma), Texas Barat (Lapangan Yates), Venezuela (Maracaibo Basin), dan Irak (Kirkuk).

Kemudian penemuan minyak terbesar dari semuanya ditemukan pada bulan Oktober 1930—reservoir minyak raksasa Texas Timur yang kemudian terbukti berukuran panjang 45 mil dan lebar hingga 10 mil. Minyak mentah yang dijual sekitar \$2 per barel pada pertengahan 1920-an turun menjadi kurang dari 10 sen per barel pada awal 1930-an (terendahnya adalah 4 sen per barel pada Mei 1933), dan harga bensin yang telah melonjak antara 10 dan 20 sen per galon dari tahun 1910 hingga 1920-an turun sesuai dengan itu. Sekarang masalahnya adalah terlalu banyak minyak, dan pemerintah Amerika Serikat harus masuk ke dalam gambaran untuk mengendalikan harga.

3.2.2 Tahun 1940 hingga 1989

Periode ini termasuk "zaman keemasan" kendaraan mesin pembakaran internal dan berakhir dengan upaya legislatif di negara bagian dan pemerintah federal mengenai guncangan minyak dan minat baru pada mobil listrik.

Dengan bensin murah yang tersedia sebagai bahan bakar, dan desain kendaraan mesin pembakaran internal dasar tetap, skala ekonomi manufaktur membawa harga dalam jangkauan setiap konsumen. Ekspansi yang jauh dari perkotaan membuat kepemilikan kendaraan menjadi suatu keharusan. Penciptaan infrastruktur jalan raya yang sangat besar memuncak dalam penyelesaian sistem jalan raya antar negara bagian. Hal ini disertai dengan penghancuran infrastruktur transit perkotaan yang tidak bertenaga pembakaran internal oleh manuver politik di Amerika Serikat, dan oleh kerusakan selama Perang Dunia II di Jepang dan Eropa.

Pelajaran Minyak pada Perang Dunia II

Minyak adalah satu-satunya sumber daya yang tidak dimiliki Jepang sama sekali. Dalam retrospeksi, perang Jepang mudah dimengerti. Dibutuhkan sumber daya minyak Indonesia, Malaysia, dan Indochina. Setelah embargo minyak terhadap Jepang dilakukan pada pertengahan 1941 dengan memblokir penggunaan dana Jepang yang disimpan di Amerika Serikat, Jepang sangat membutuhkan minyak, dan melakukan apa yang harus dilakukan untuk mendapatkannya. Serangan Pearl Harbor adalah upaya untuk melindungi sayap Timurnya, tetapi waktu yang buruk membuatnya menjadi peristiwa yang terkenal ("deklarasi perang" Jepang tidak disampaikan sampai setelah serangan). Kehilangan awal pesawat dan kapal Jepang di Midway berarti tidak pernah mampu memberikan perlindungan yang memadai untuk konvoi kapal tanker minyaknya dari Indonesia. Berkurangnya cadangan minyak dan program bahan bakar sintetis yang tidak berfungsi berarti pilot baru tidak dapat

dilatih dan armada kapal tidak dapat bermanuver. Sementara Jepang “kalah” Perang Dunia II jauh sebelum tahun 1945, Jepang mempelajari pelajaran minyaknya dengan baik dan beralih ke standar minyak segera setelah perang.

Di sisi lain I.G. Farben, gabungan bahan kimia besar Jerman, telah menguasai pemulihan bahan bakar sintetis dari batu bara pada awal 1920-an—hidrogenasi adalah metode yang paling populer—dan Jerman memiliki banyak batu bara. Tetapi sebagian besar impor minyak Jerman berasal dari Barat, dan meningkatnya permintaan menyebabkan naiknya valuta asing. Hitler percaya jika cadangan minyak Baku Rusia dapat ditambahkan ke cadangan minyak sekutunya, Rumania, bersama dengan cadangan bahan bakar sintetis milik Jerman tahun 1940, "Reich Seribu Tahun" akan mudah dicapai melalui perang taktik blitzkrieg yang tidak menghabiskan banyak bahan bakar. Sayangnya untuk Hitler, serangan blitzkriegnya sering melampaui truk pasokan bahan bakar mereka, dia tidak pernah sampai ke Baku, pasokan minyak Rumanianya di Ploesti dihancurkan di awal perang, dan kemajuan Jerman di Afrika Utara berakhir ketika kapal tanker minyaknya tidak bisa mencapainya. Melintasi Mediterania. Selain itu, bensin penerbangan bahan bakar sintetis Jerman tidak pernah cukup "panas" seperti yang dihasilkan dari minyak mentah asli, dan seluruh mesin perang Jerman terhenti ketika pemboman sistematis pabrik bahan bakar sintetisnya kemudian dalam perang membuat mereka menjadi puing-puing. Jerman juga kalah dalam Perang Dunia II jauh sebelum tahun 1945, tetapi mempelajari minyaknya dengan baik dan mengubah standar minyak segera setelah perang meskipun cadangan batu baranya sangat besar.

Apa yang dipelajari sekutu dari Perang Dunia II? Mereka mempelajari kembali pelajaran dari Perang Dunia I: Siapa pun yang mengendalikan pasokan minyak memenangkan perang.

Mereka juga mempelajari nilai cadangan minyak bumi yang strategis. Sampai tahun 1943, sekutu hampir kalah perang dengan Jerman di Atlantik Utara, keberhasilan penghambatan pengiriman melalui kapal selam membuat hampir mustahil bagi kapal tanker minyak sekutu untuk memasok Inggris, Eropa, dan Afrika. Bahkan pada tahun 1945, banyak nyawa yang terbuang dan Rusia bergerak menuju Berlin sementara tank Patton duduk tanpa bahan bakar di Prancis, memberi Jerman waktu untuk berkumpul kembali dan memasok.

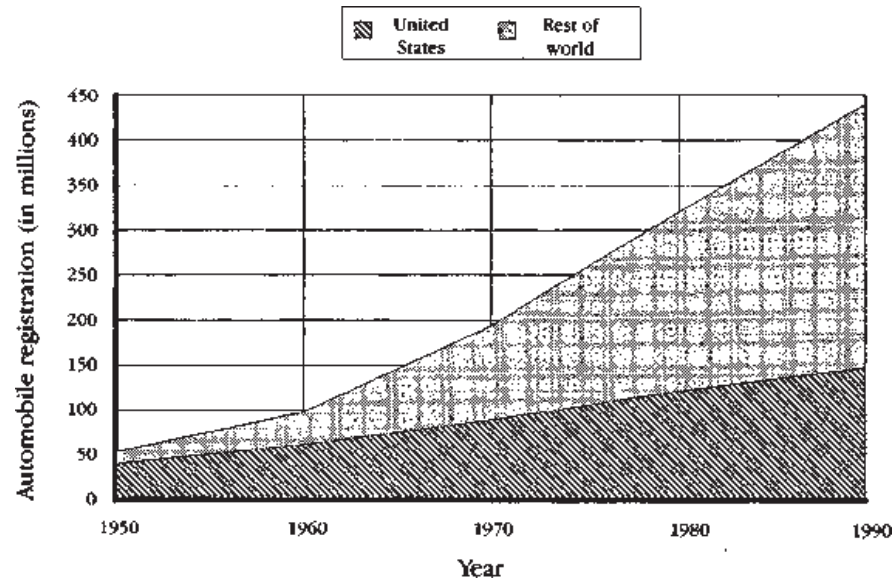
Sementara Amerika Serikat menyediakan enam dari setiap tujuh barel minyak sekutu selama Perang Dunia II, diakui oleh banyak orang di pemerintahan bahwa ia akan segera menjadi pengimpor minyak bersih. Lebih banyak minyak telah ditemukan di Bahrain pada tahun 1932, dan di Kuwait (Ladang Burgan) dan Arab Saudi (Ladang Damman) pada tahun 1938. Pada tahun 1943, ketika semua mata tertuju ke Timur Tengah dengan cadangannya yang diperkirakan bervariasi sekitar 600 miliar barel,

Pemerintah Amerika Serikat mengusulkan rencana "solidifikasi" untuk membantu perusahaan minyak (yaitu, berbagi risiko keuangan) dalam pengembangan minyak Arab Saudi. Sementara rencana ini dan revisi selanjutnya ditolak dengan banyak kemarahan oleh perusahaan minyak, beberapa dekade kemudian dengan 20/20 belakang, mereka semua dengan senang hati akan mengubah suara mereka.

Dunia yang Dibanjiri Minyak Setelah Perang Dunia II

Setelah Perang Dunia II, permintaan konsumen yang terpendam merilis jenis blitzkrieg lain, mobil mesin pembakaran internal. Sementara Gambar 3.6 menunjukkan pendaftaran mobil di Amerika Serikat hampir empat kali lipat, populasi mobil dunia lainnya tumbuh lebih dari dua puluh kali lipat: dari 13 juta pada tahun 1950 menjadi hampir 300 juta pada tahun 1990. Eksplorasi minyak pada periode ini sedang dalam kecepatan tinggi. Pasokan yang hampir tidak ada habisnya ternyata ditemukan di Timur Tengah; harga bensin melambung antara 20 dan 30 sen per galon sampai awal 1970-an. Dibantu oleh kenyamanan mobil pembakaran internal, Amerika pindah ke pinggiran kota, di mana jarak diukur dalam menit perjalanan, bukan mil. Mobil hemat bahan bakar adalah item terakhir di pikiran siapa pun selama periode ini. Bensin berlimpah dan murah (mencerminkan harga minyak yang mendasarinya) dan perang harga eceran lokal yang teratur membuatnya lebih murah.

"Lingkungan" adalah kata yang jarang digunakan dengan arti yang tidak jelas. Pembangunan jalan raya berlangsung dengan kecepatan yang belum pernah terjadi sebelumnya, yang berpuncak pada RUU Jalan Raya Antar Negara Bagian yang ditandatangani oleh Presiden Eisenhower pada tahun 1956, yang mengesahkan sistem jalan raya super sepanjang 42.500 mil. Angkutan umum dan perkeretaapian —yang merugi besar di Jepang dan Eropa akibat kerusakan Perang Dunia II— juga menjadi pecundang besar di Amerika Serikat karena pemerintah AS secara resmi menyelesaikan pekerjaan yang dilakukan oleh perusahaan-perusahaan industri besar, yang bertindak dalam kerahasiaan persekongkolan dan dihukum karena melanggar Sherman Antitrust Act, telah dimulai pada 1930-an dan 1940-an: membongkar rel, membongkar infrastruktur, dan menghapus sistem kereta ringan dan troli antarkota dan antarkota yang bisa menyelamatkan konsumen, kota, dan lingkungan dari pengeluaran miliaran dolar hari ini. (Sumber: Jonathan Kwitny, "The Great Transportation Conspiracy," Harper's, Februari 1981.)



Gambar 3.6 pendaftaran mobil dari tahun 1950 hingga 1990.

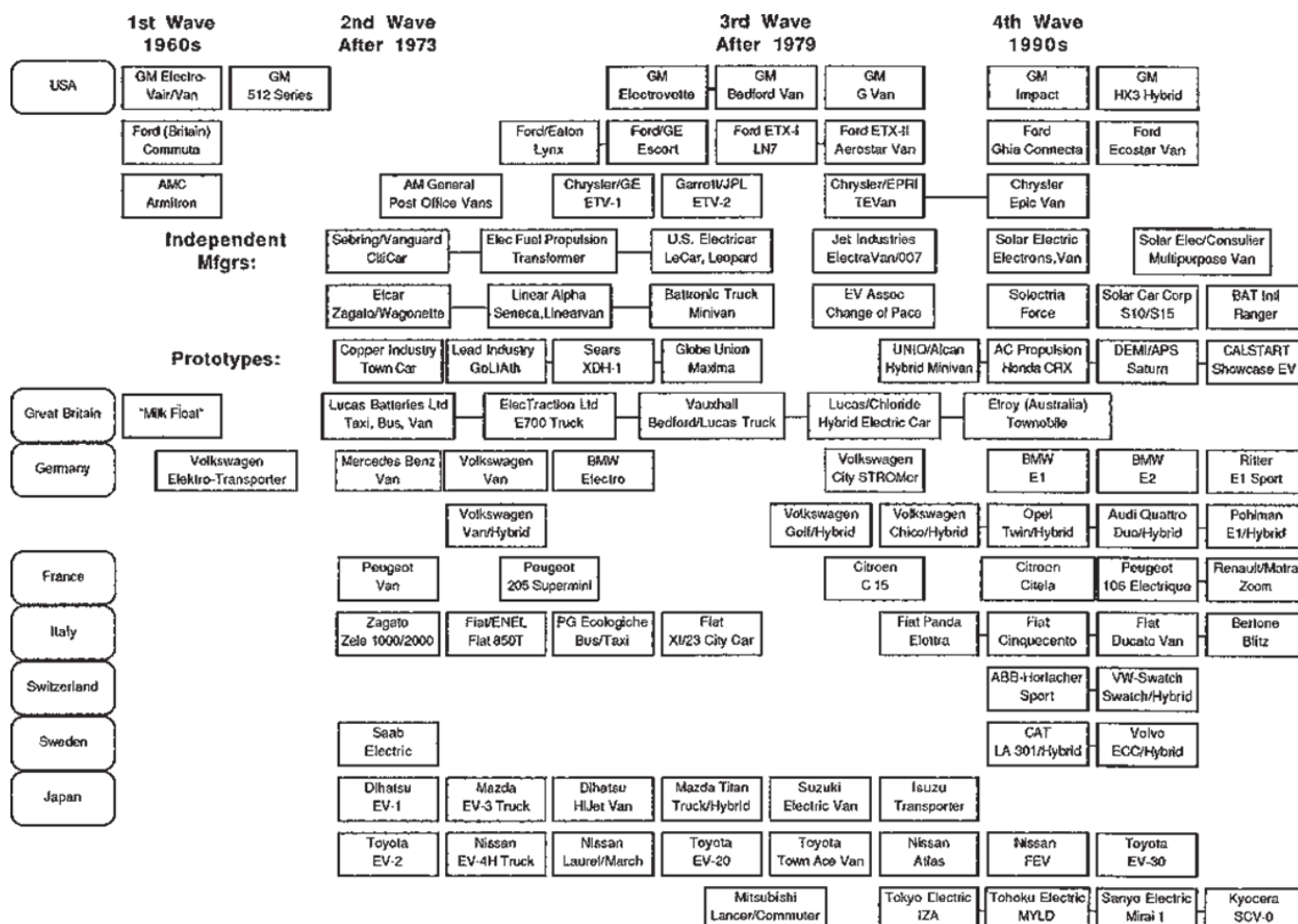
Pembangunan kembali infrastruktur Eropa dan Jepang pasca-Perang Dunia II menjadikannya lebih modern daripada Amerika Serikat. Jerman dan Jepang (dan sebagian besar negara industri lainnya) dengan cepat beralih dari ekonomi batu bara ke minyak setelah Perang Dunia II, dan mengalami periode ekspansi ekonomi dan industri yang belum pernah terjadi sebelumnya ketika lonjakan pendaftaran mobil di luar Amerika Serikat, ditunjukkan pada Gambar 3.6, membuktikan. Semua ekonomi industri dunia sekarang bergantung pada kendaraan mesin pembakaran internal dan minyak.

Tahun 1960-an: Merintis Motor Listrik

Sementara pengembangan mobil kendaraan listrik merana sejak tahun 1920-an (kecuali upaya Detroit Electric), kegiatan motor listrik komersial dan industri terus berkembang, mungkin paling baik dicontohkan oleh truk susu listrik Inggris (disebut "mengapung") dan total populasi kendaraannya lebih dari 100.000.

Kekhawatiran lingkungan yang meningkat pada tahun 1960-an, khususnya polusi udara, adalah gelombang pertama di mana kendaraan listrik bangkit kembali. Sementara banyak visioner tahun 1960-an dengan benar menggembarkan-gemborkan motor listrik sebagai solusi, sayangnya teknologi manufaktur tidak sesuai dengan visi.

Gambar 3.7 menunjukkan ringkasan kronologis dari apa yang dilakukan oleh pengembang kendaraan listrik utama di Amerika Serikat, Eropa, dan Jepang selama empat gelombang.



Gambar 3.7 Ringkuman kronologis gelombang perkembangan kendaraan listrik dari tahun 1960-an hingga awal 1990-an.

Minat motor listrik selama gelombang pertama jatuh ke dalam dua kubu persepsi yang sangat berbeda:

- Individu yang berhasil mengubah kendaraan pembakaran internal yang ada
- Pabrik yang tidak tahu bagaimana membuat teknologi yang ada membenarkan angka keuangan, apalagi memikirkan cara memasarkan motor listrik ke publik Amerika yang menginginkan mobil mesin pembakaran internal yang cepat dan besar.

Individu Memimpin Jalan

Konversi cukup mudah, dan juga murah. Kemudian, seperti hari ini, Anda memilih rangka kendaraan, ringan dan/atau mudah dimodifikasi dengan menambahkan motor, pengontrol, dan baterai, dan pergi. Sayangnya, motor yang paling banyak tersedia dalam ukuran yang sesuai adalah motor DC starter pesawat surplus perang berusia puluhan tahun; pengontrol *do-it-yourself* hampir tidak lebih canggih daripada rekan-rekan mereka di pergantian abad; dan teknologi baterai, meskipun secara kosmetik ditingkatkan dengan teknik manufaktur dan pengemasan modern, hampir tidak berubah dari tahun 1900. Karena pengontrol yang paling tersedia berasal dari kereta golf yang biasanya menggunakan enam baterai 6 volt (36 volt), dan motor starter pesawat biasanya diberi peringkat pada 24 hingga 48 volt, banyak upaya motor listrik *do-it-yourself* pertama kali mengalami kinerja yang buruk, dan pemilik mobil otot pembakaran internal kontemporer tahun 1960-an hanya menertawakannya.

Kemudian seseorang menemukan motor benar-benar diremehkan untuk memastikan umur panjang, dan mulai mengendarainya pada 72 hingga 96 volt. Beberapa pemilik awal menemukan bahwa mereka dapat membuat pengontrol sederhana yang tidak membatasi arus, dan membuat kendaraan yang dapat dengan mudah mempermalukan setiap mobil otot pembakaran internal di lampu lalu lintas. Untuk gambaran konseptual ini, bayangkan motor traksi kereta bawah tanah di kereta dune. Faktanya, pemilik ini hanya meninggalkan resistansi awal dari motor DC seri, atau secara setara memasang motor shunt atau kompon. Motor DC seri menghasilkan torsi puncak saat berhenti, dan meskipun arus start sangat besar, para inovator awal ini hanya memastikan bahwa mereka memiliki beban yang terpasang saat mereka menyalakan jus. Hasil langsungnya adalah terburu-buru. Bisa ditebak, hasil jangka panjangnya adalah motor yang terbakar dan, kadang-kadang, poros atau poros penggerak rusak. Tetapi konversi motor listrik 72-ke 96-volt yang didorong dan dikendalikan dengan bijaksana tidak buruk sama sekali. Ini adalah tahun 1960-an, dan Asosiasi Otomotif Listrik didirikan pada tahun 1967.

Pabrik Yang Tidak Memproduksi

Pabrik kendaraan bermesin pembakaran internal yang sudah mapan pada akhir 1960-an tidak banyak memproduksi kendaraan listrik. Seri XP512E General Motors (GM's ElectroVairs—corvair yang diubah tahun 1964 dan 1966—dan ElectroVan—sebuah HandiVan GMC 1966 yang diubah) dapat dengan mudah direplikasi oleh siapa pun kecuali untuk baterai perak-seng ElectroVair yang mahal, dan baterai ElectroVan yang mahal. Sel bahan bakar hidrogen-oksigen. Ford Comuta Inggris (bahkan lebih mudah direplikasi oleh siapa saja) dan American Motors 'Amitron,

seperti penawaran General Motor, semuanya menyerupai kereta golf (meskipun Amitron berada di kelasnya sendiri — itu menampilkan baterai lithium Gulton, *solid-state controller*, kecepatan 50-mph, dan jangkauan 150 mil). Sangat menyedihkan bahwa banyak individu dapat mengembangkan solusi motor listrik yang jauh lebih unggul daripada apa pun yang diajukan oleh perusahaan industri raksasa yang telah membantu menempatkan manusia di bulan dalam dekade yang sama. Masalahnya bukan karena perusahaan-perusahaan ini kekurangan bakat, uang, atau teknologi.

Masalahnya adalah pemikiran korporat di era ini terkunci dalam mode yang menganggap keberhasilan mereka saat ini akan berlanjut selamanya, dan mereka berkomitmen untuk mempertahankan status quo untuk memastikannya.

3.2.3 Setelah 1973 Mobil Listrik Meningkat Cepat

Kebijakan akhir tahun 1960-an dari produsen mobil besar Amerika menempatkan mereka pada posisi yang buruk untuk menanggapi krisis awal tahun 1970-an. Inventarisasi besar mobil-mobil bergaya tapi besar, boros bahan bakar, bersama dengan empat sampai empat mobil. Siklus pengembangan mobil baru lima tahun, menjadikannya situasi yang mustahil. Yang bisa mereka lakukan hanyalah menunggu krisis dan mengimpor mobil yang lebih kecil dan lebih hemat bahan bakar dari anak perusahaan asing mereka.

Harga bensin Eropa dan Jepang yang lebih tinggi, selama bertahun-tahun, memaksa mereka untuk mengembangkan mobil yang lebih ringan dan lebih kompak dengan penggerak yang ekonomis. Sementara ini membantu orang Eropa dan Jepang hanya sedikit di rumah setelah krisis (harga bensin mereka yang sudah tinggi hanya naik secara proporsional lebih tinggi, meniadakan keuntungan apa pun), solusi otomotif Eropa/Jepang sangat ideal untuk pasar Amerika Serikat pada waktu itu. Jadi impor, yang tidak penting di Amerika Serikat sampai awal 1970-an, memperoleh pijakan yang menjadi faktor penting dari waktu ke waktu. Dengan latar belakang inilah kendaraan listrik bangkit kembali, seperti burung phoenix dari abu.

Lima tren (ditunjukkan pada Gambar 3.7) menyoroti perkembangan kendaraan listrik selama gelombang kedua ini:

- Ketidakaktifan General Motors berbeda dengan Ford, Chrysler, dan American Motors
- Periode aktivitas panik oleh produsen independen
- Periode promosi prototipe yang kuat oleh asosiasi dan pemasok industri
- Dimulainya kembali pembangunan luar negeri yang serius
- Kelanjutan individu yang mengubah kendaraan pembakaran internal yang ada

General Motor Memimpin, Tetapi Dunia Tidak Mengikuti

Di bawah judul "Gelombang ke-2" pada Gambar 3.7, ketidakaktifan *General Motor* sangat kontras dengan apa yang dilakukan orang lain di kendaraan listrik selama periode ini. Pernyataan eksekutif *General Motor* pada audiensi Kongres Juni 1975, yang dikutip kemudian dalam bab ini, dengan jelas menyampaikan alasan nonaktivitas kendaraan listrik *General Motor*.

Sementara tindakan *General Motor* tidak penting hari ini—waktu telah berubah dan *General Motor* juga ikut berubah—pendirian *General Motor* yang kuat terhadap kendaraan listrik menyebabkan banyak kesedihan di antara kekuatan industry yang mendukung motor listrik di awal 1970-an.

Di akhir dekade *General Motor* kembali memasuki dunia kendaraan listrik dengan *ElectroVette* (*Chevette* yang dikonversi) dan *Bedford Van* (van GM–United Kingdom yang dikonversi). Tetapi *General Motor* tidak melakukan inovasi teknis apa pun, dan kedua upaya konversi menjadi ramalan yang terpenuhi dengan sendirinya: tidak ada spesifikasi kinerja kendaraan yang spektakuler, dan ekonomi tidak masuk akal bagi produsen/pemasar.

Seperti disebutkan dalam Bab 1, sebuah 8,000-lb. van tidak akan pernah menjadi pilihan konversi pertama saya. *Chevette* memiliki 20 baterai bebas perawatan 12 volt, kecepatan tertinggi 53 mph, jangkauan 50 mil pada 30 mph, dan beratnya 2.950 pon — mungkin pilihan konversi marjinal. Pengeluaran konverter kendaraan listrik individu kontemporer mungkin Rp 75.000.000 untuk seluruh paket, mungkin hanya Rp 30.000.000 dengan suku cadang bekas dan pengocokan berat, sementara *General Motor* akan kesulitan untuk memeras keuntungan dari harga eceran Rp 300.000.000. Performa dan harga van bahkan lebih buruk. *General Motor* dapat dengan jujur menggembar-gemborkan kesimpulan mereka tanpa menyebutkan apa yang belum mereka lakukan (seperti desain sistem total seperti Dampak motor listrik di tahun 1990).

Ford, Chrysler, dan American Motors Maju

Arah *Ford* benar-benar berbeda dari *General Motor* selama gelombang ini. Mereka melihat dengan seksama masalahnya dan memutuskan dua area kritis adalah teknologi baterai dan efisiensi drivetrain. Periode ini menandai penanaman benih mereka dalam teknologi baterai natrium-sulfur (mereka menemukannya pada tahun 1965) dan drivetrain motor induksi AC terintegrasi selama proyek

Ford/Eaton Lynx dan Ford/GE Escort yang nantinya akan menghasilkan buah manis.

Tim Chrysler/GE mengambil keuntungan dari pendanaan pemerintah federal dari program *Electric Test Vehicle One* (ETV-1) pada tahun 1977 untuk memasang bodi yang ringan, tahan guling rendah, ramping dengan penggerak roda depan ke motor DC unik, pengontrol transistor, dan baterai timbal-asam canggih senilai 108 volt. Pada saat yang sama, tim Garrett/JPL sedang mengerjakan ETV-2 dan mempelajari manfaat dari kendaraan yang dibuat serupa dan bertenaga identik menggunakan penggerak roda belakang dan dibantu oleh penyimpanan energi roda gila.

Pada tahun 1971, Kantor Pos Amerika Serikat mempelajari kendaraan listrik dalam program percontohan yang dilaksanakan di Kantor Pos Cupertino di California, menggunakan van listrik Harbilt Inggris. Program ini sukses besar. Karena itu, Kantor Pos Amerika Serikat memesan 350 mobil van listrik tipe "Jeep" hasil konversi dari *AMC General Corp.* Sebuah divisi dari American Motors, untuk tahap program selanjutnya. Van AMC General juga sukses besar. Baik van Harbilt dan AMC General memiliki waktu kerja yang sangat tinggi dan biaya per mil yang rendah saat dikendarai hampir terus menerus selama periode evaluasi mereka. Program tersebut mendapat dukungan kuat di dalam Kantor Pos dan dibatalkan hanya setelah "kejutan minyak ketiga" membuatnya tidak menarik secara ekonomi.

Produsen Motor Listrik Independen Naik dan Turun

Banyak produsen kendaraan listrik independen keluar dari kayu setelah kejutan minyak 1973; itu adalah pengulangan perkembangan kendaraan pergantian abad dengan yang baik, yang buruk, dan yang jelek. Ada banyak motor listrik untuk dipilih, tetapi sebagian besar tidak inovatif secara teknis, kualitas manufaktur tidak konsisten, dan kualitas komponen terkadang buruk.

Desain yang berlaku menggunakan baik konversi kendaraan pembakaran internal yang ada atau sasis baru yang tidak canggih, dan banyak yang direkayasa dengan buruk. Selain itu, sebagian besar perusahaan sangat kekurangan modal. Sementara industri otomotif memasarkan kendaraan bertenaga pembakaran internalnya melalui hubungan masyarakat, melobi untuk menumpulkan undang-undang, mengukur selera publik melalui program survei dan prototipe, iklan produk, dan distribusi melalui jaringan dealer, produsen motor listrik tahun 1970-an menggunakan beberapa di antaranya, dan sembarangan.



Gambar 3.8 Sebring/Vanguard CitiCar

Sebring/Vanguard CitiCar yang terlihat pada Gambar 3.8 adalah kendaraan listrik paling terkenal dan terkenal pada periode ini. Sebring/Vanguard adalah pabrikan pertama yang keluar dari blok pada tahun 1974, dan untuk waktu yang singkat menjual semua yang bisa dibuatnya. Akhirnya, lebih dari 2.000 CitiCars diproduksi. Itu sangat populer pada zamannya; pemilik sangat setia, dan menerima banyak publisitas. Sayangnya, meskipun dibangun dengan baik (banyak yang masih di jalan hari ini), efisien, dan praktis, desain dan gayanya memberikan tampilan kereta golf yang dimuliakan, mirip dengan prototipe teknik akhir 1960-an yang disebutkan sebelumnya. Ketika mereka disalahkan secara tidak adil oleh laporan Serikat Konsumen (bersama dengan Zagato seukuran kereta golf Elcar yang diimpor dari Italia), dan sebuah artikel yang tidak menguntungkan keluar melalui kawat UPI, bahkan sepucuk surat dari kepala pengacara Departemen Perhubungan yang mengatakan kritik yang salah gagal untuk membatalkan kerusakan. Masyarakat akan selalu mengasosiasikan motor listrik dengan kereta golf dan beberapa stigma samar.

Tetapi pelajaran yang menyakitkan ini dipelajari dengan baik oleh produsen kendaraan listrik lainnya, dan model-model selanjutnya menghindari desain yang tampak seperti kereta golf seperti wabah. Pabrikan terkenal lainnya pada periode ini adalah *Electric Fuel Propulsion*. Konversi awal Renault R 10 dan Hornet mereka menghasilkan Transformer orisinal dan inovatif mereka (menampilkan baterai kobalt timbal tripolar 180 volt, kecepatan tertinggi 70 mph, dan jangkauan 100 mil) dengan trailer Pembangkit Listrik Seluler yang memperluas jangkauan. Linear Alpha menghasilkan konversi Seneca (Ford) dan Linearvan (Dodge). Electricar AS memproduksi konversi Electricar (Renault LeCar) dan Letric Leopard. Terakhir, ada Minivan Batronic Truck, yang diproduksi bersama dengan Electric Vehicle

Council; lebih dari 60 utilitas menerima versi produksi 6.800-lb ini. van yang 18 baterai timbal-asam 6 volt mendorongnya ke 60 mph.

Industri Kendaraan Listrik Menutup Peringkat untuk Menunjukkan Dukungan

Salah satu promosi yang lebih inovatif pada periode ini melibatkan pengembangan prototipe oleh asosiasi industri dan produsen individu yang berdiri untuk memperoleh keuntungan dari penjualan produk mereka di kendaraan listrik. Prototipe digunakan untuk semua jenis pemasaran gaya acara hubungan masyarakat. Hasilnya adalah meningkatkan tingkat kesadaran publik tentang mobil listrik, yang mengira ini adalah produk produksi, sering menghubungi organisasi ini untuk memesan.

Jepang Semakin Serius Mendukung Motor listrik

Kebangkitan Jepang dan sekarang dominasi dunia penggerak listrik luar biasa dan masih berlanjut. Dari Lexus hingga Prius hingga Camry, penggerak hibrida adalah sistem penggerak kelas dunia. Dari Motor listrik Toyota RAV4 yang saya kendarai hingga mobil *plug-in-hybrid* yang pasti akan mereka luncurkan di masa depan, Jepang adalah kekuatan otomotif. Bahkan sebelum mereka mencapai dominasi dunia dalam kendaraan mesin pembakaran internal pada 1980-an, visioner terkemuka di badan perencanaan negara Jepang telah melihat masa depan, dan itu adalah kendaraan listrik. Jepang membutuhkan sedikit insentif, yaitu adalah importir minyak terbesar di dunia, memiliki tingkat polusi yang berbahaya, dan kecepatan tinggi di jalan-jalan perkotaannya yang sempit adalah fakta kehidupan. Sementara Asosiasi Kendaraan Listrik Jepang dan koordinasi ketatnya dengan arahan MITI tidak muncul sampai tahun 1976, pendanaan pemerintah Jepang untuk program motor listrik dimulai pada tahun 1971 dengan penelitian dasar Tahap I ke dalam baterai, motor, sistem kontrol, dan komponen di seluruh spektrum platform mobil, truk, dan bus.

Hasil kerja kerasnya, ditambah dengan arahan MITI untuk fokus pada percepatan dan jangkauan perkotaan, muncul di Tahap II. Seperti yang ditunjukkan Tabel 3.1, penawaran Tahap II Jepang tahun 1970-an dari Daihatsu, Toyota, Mazda, dan Nissan menempatkannya ke dalam kelas kepemimpinan dunia. Truk Nissan Motor Listrik-4P yang menempuh jarak 188 mil sebelum diisi ulang adalah rekor untuk kendaraan bertenaga baterai timbal-asam, dan truk Motor Listrik-4H-nya sejauh 308 mil adalah rekor dunia untuk periode itu.

Sepanjang sisa tahun 1970-an, semua sembilan pembuat mobil besar Jepang—Daihatsu, Honda, Isuzu, Mazda (Toyo Kogyo), Mitsubishi, Nissan, Subaru, Suzuki, dan Toyota—terlibat dalam kegiatan pengembangan kendaraan listrik, meskipun beberapa lebih banyak daripada yang lain (lihat Gambar 3.7).

Individu Dibantu oleh Segalanya Lebih Banyak dan Lebih Baik

Berita terbaik tahun 1970-an adalah untuk individu yang ingin melakukan konversi Motor Listrik. Lebih dari apa yang dibutuhkan tersedia untuk konversi, dan buku petunjuk bahkan mulai muncul. Selain fakta bahwa komponen—khususnya pengontrol—masih tidak canggih, konverter individu senang menghubungkan pengalaman konversi mereka pada pertemuan Asosiasi Otomotif Listrik reguler dan mendorong di luar batas kecepatan dan jarak pada rapat umum dan acara. Ironi terbesar dari periode ini adalah bahwa pada saat yang sama General Motors memberikan informasi yang sangat negatif kepada audiensi Kongres, orang-orang yang benar-benar melakukan konversi ke kendaraan listrik melaporkan tingkat kepuasan yang tinggi, dengan biaya operasional dalam kisaran dua sen per mil, dan sebagian besar belum mengganti set baterai pertama mereka.

Tabel 3.1 Perbandingan Kendaraan Listrik Tahap II Gelombang Kedua Jepang

	Mobil Daihatsu (Motor Listrik -1)	Mobil Toyota (Motor Listrik -1)	Mazda	Nissan	Nissan
Rentang (mil)	109	283	Truk EV-3	Truk EV-4P	Truk EV-4H
Kecepatan Tertinggi (mph)	55	53	127	188	308
Baterai	timbangan-asam	seng-udara / timbangan-asam	45	54	56
Berat Batas (lbs)	2500	2770	timbangan- asam	timbangan- asam	seng-udara / timbangan-asam

3.2.4 Gelombang Ketiga Setelah 1979: Masuki Lubang Hitam

Sementara "kejutan minyak" kedua tahun 1979 dan kekurangan berikutnya lebih lanjut mendorong pengembangan kendaraan listrik, "kekenyangan minyak" tahun 1986 dan peristiwa yang mengarah ke sana hampir menghentikan pengembangan. Sementara produsen mobil pembakaran internal yang lebih besar "dicambuk"—program kecelakaan mereka di akhir 1970-an sekarang membawa mobil yang lebih ringan dan lebih kecil ke pasar yang (setidaknya untuk sementara) tidak diinginkan siapa pun—produsen kendaraan listrik independen dimusnahkan begitu saja.

Dengan harga minyak dan bensin yang kembali mendekati level tahun 1970-an, semua orang kehilangan minat pada motor listrik, dan pundi-pundi modal dari produsen motor listrik yang lebih kecil tidak cukup besar untuk menghadapi badai. Bahkan program penelitian pun terpengaruh. Dari pertengahan 1983 hingga awal 1990-an, seolah-olah segala sesuatu yang berkaitan dengan motor listrik tiba-tiba jatuh ke dalam lubang hitam—tidak ada pabrikan, tidak ada buku, bahkan tidak banyak artikel majalah. Para penyintas motor listrik adalah pembuat prototipe dan konverter, pemasok suku cadang (yang biasanya memiliki lini bisnis lain seperti

baterai, motor, dan komponen listrik), dan asosiasi motor listrik, meskipun peringkat keanggotaan mereka agak menipis. Empat tren (lihat Gambar 3.7) menyoroti perkembangan motor listrik selama gelombang ketiga ini:

- Aktivitas tingkat rendah di General Motor, Ford, dan Chrysler
- Produsen independen terbaik datang dan kemudian pergi
- Rendahnya aktivitas di luar negeri
- Kelanjutan individu yang mengubah kendaraan pembakaran internal yang ada

Kurangnya Aktivitas di Motor Listrik, Ford, dan Chrysler

Dalam retrospeksi, mengingat semua masalah lain yang harus dihadapi tiga besar selama periode ini, sungguh menakjubkan bahwa program kendaraan listrik bertahan sama sekali. Tapi mereka bertahan, untuk muncul sebagai pemenang di tahun 1990-an.

Proyek van general motor Bedford menjadi van General Motor Griffon—G-Van. Dengan partisipasi yang luas dari *Electric Power Research Institute* (EPRI), Chloride EV Systems, dan Southern California Edison, General Motors G-Van, sebenarnya merupakan konversi *aftermarket OEM* oleh Vehma International dari Kanada, telah diuji secara luas untuk penggunaan armada. Meskipun lucu untuk membaca banyak keluhan tentang kecepatan tertinggi G-Van 53-mph, jangkauan 60 mil, dan akselerasi 0 hingga 30 mph dalam 12 detik, kita harus bertanya-tanya berapa banyak pembaca laporan yang mengaitkan data ini dengan benar. 8.120-lb. berat, 36 baterai, dan area depan yang besar.

Arahan Ford adalah terus membangun baterai natrium-sulfur dan teknologi sistem propulsi terintegrasi menggunakan dana pemerintah. Bekerja sama dengan General Electric, program ETX-I Ford mengadaptasi baterai natrium-sulfur dan sistem propulsi motor induksi AC terintegrasi ke tempat uji mobil LN7 penggerak roda depan. Program Ford/GE ETX-II lanjutan menggunakan baterai natrium-sulfur dan sistem propulsi motor sinkron magnet permanen di van Aerostar berpenggerak roda belakang. Sementara itu Chrysler, di bawah sponsor EPRI, menggunakan platform minivan Caravan/Voyager standar mereka, motor solid-state GE DC, dan 30 Eagle Picher NIF 200 baterai nikel-besi 6 volt untuk mencapai 65 mph dan jangkauan 120 mil. di 6.200-lb mereka. TEVan.

Kedatangan dan Keberangkatan Produsen Independen

Banyak produsen kendaraan listrik independen telah datang dan pergi selama gelombang sebelumnya. Sebagai produsen motor listrik independen di gelombang ketiga, Anda melakukan sesuatu yang baik, atau Anda telah keluar dengan sesuatu yang lebih baik. *Electric Vehicle Associates* dari Cleveland, Ohio, adalah contoh terbaik dari tipe pertama. Sementara konversi Renault 12 dan proyek ElectroVan

dengan Chloride adalah pengalihan yang menarik, mereka terkenal karena wagon dan sedan Change of Pace mereka yang dibangun di atas platform AMC Pacer. Sedan empat penumpang Change of Pace berbobot sekitar 3.990 lbs., dan menggunakan 20 baterai asam timbal 6-volt *Globe-Union* yang menggerakkan motor DC melalui helikopter SCR untuk mencapai 55 mph dan jangkauan 53 mil.

Jet Industries of Austin, Texas, yang pernah menjadi salah satu produsen Motor listrik independen terbesar dan terbaik, juga menjadi yang terakhir tiba di tempat kejadian. Produk Jet yang paling populer adalah ElectraVan 600 (berdasarkan sasis Subaru) dan 007 Coupe (berdasarkan sasis Dodge Omni). Ia juga menawarkan van dan pickup delapan penumpang yang lebih besar. 2.690-lb. ElectraVan 600 memiliki motor seri DC GE 20-hp atau Prestolite 22-hp, pengontrol SCR, dan 17 baterai timbal-asam 6 volt yang dapat mendorongnya hingga 55 mph dengan jangkauan 100 mil. Ratusan ElectraVan 600s dan 007 Coupe adalah barang berharga di antara anggota Asosiasi Otomotif Listrik saat ini, membuktikan kualitas dan daya tahannya yang luar biasa. Jet Industries, sayangnya, tidak ada lagi.

Tak perlu dikatakan, dukungan asosiasi industri dari produsen mobil listrik independen — pada puncaknya selama gelombang sebelumnya — pindah ke titik terendah selama yang satu ini. Tidak ada lagi produsen kendaraan listrik independen yang mendukung.

Konversi Individu Lanjutkan

Individu yang dibantu oleh segala sesuatu yang lebih dan lebih baik selama gelombang terakhir sekarang harus puas dengan tingkat sumber daya yang lebih sederhana. Tetapi konversi Mobil listrik oleh individu berlanjut sepanjang gelombang ini, meskipun dengan kecepatan yang lebih lambat. Berita terbaik tahun 1980-an adalah bahwa sumber daya tahun 1970-an masih dapat ditemukan dan digunakan. Selama gelombang ini, konverter individu masih menikmati menghubungkan pengalaman konversi mereka pada pertemuan Asosiasi Otomotif Listrik reguler; mereka masih mendorong bagian luar amplop kecepatan dan jarak di rapat umum dan acara; dan mereka masih melaporkan tingkat kepuasan yang tinggi dengan apa yang telah mereka lakukan.

3.2.5 Pertengahan 1960-an hingga 1990-an

Periode ini menandai kesadaran yang meningkat secara berturut-turut akan masalah dengan kendaraan pembakaran internal. Masalah kabut asap pada pertengahan 1960-an membuat kami sadar bahwa kami telah mencemari lingkungan dan membunuh diri kami sendiri. Embargo, kelangkaan, dan kelebihan minyak Arab pada tahun 1970-an, 1980-an, dan 1990-an membuat kami sadar akan ketergantungan kami pada minyak asing. Kecelakaan nuklir dan tumpahan

minyak pada tahun 1970-an dan 1980-an membuat kami sadar akan konsekuensi jangka panjang dari keputusan energi jangka pendek kami. Masalah mesin pembakaran internal dan oli yang dimulai dengan renekan pada pertengahan 1960-an berubah menjadi gelombang opini publik pada 1990-an. Hasil bersih dari kesadaran baru pada periode ini adalah munculnya kembali kendaraan listrik. Ketika tindakan legislatif yang mengamanatkan kendaraan tanpa emisi pada 1990-an memaksa pemikiran ulang tentang desain kendaraan dasar, teknologi saat ini yang diterapkan pada konsep Motor Listrik muncul sebagai solusi ideal.

Kemunduran Raja Minyak

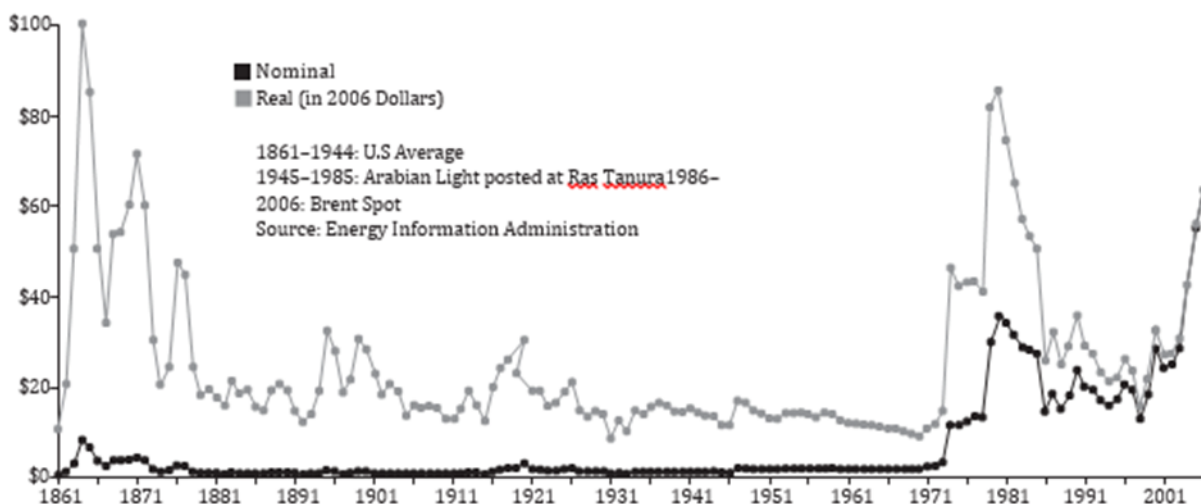
Pada pertengahan tahun 1960-an, banyak orang di pemerintahan dan industri di seluruh dunia menyadari bahwa ada sesuatu yang salah dengan gambaran ini. Meskipun gerakan Amerika Serikat menuju alternatif energi seperti gas alam dan fisi nuklir (dimulai beberapa dekade sebelumnya) dengan cepat membawa kapasitas alternatif baru secara online, ketergantungan pada minyak menjadi lebih buruk, dan masalah kabut asap dan lingkungan mulai mengemuka. Pengesahan Undang-Undang Udara Bersih tahun 1968 adalah salah satu hasilnya. Pengesahan undang-undang standar ekonomi bahan bakar rata-rata perusahaan (CAFE) tahun 1975 adalah hal lain. Masalahnya jelas bagi sebagian orang, tetapi sebagian besar publik bersorak dengan riang di dalam kendaraan bertenaga pembakaran internal mereka.

Setelah “kejutan pertama”—embargo Arab yang mengikuti Perang Yom Kippur Oktober 1973—semua orang tahu ada masalah. Dengan memotong produksi 5% per bulan dari tingkat September, dan memotong tambahan 5% setiap bulan berikutnya sampai tujuan harga mereka terpenuhi, Organisasi Negara Pengekspor Minyak (OPEC) secara efektif membuat panik, mencekik, dan menumbangkan negara-negara industri di dunia untuk keinginan mereka. Kepanikan diperburuk oleh negara dan perusahaan minyak yang berebut pasokan di pasar dunia, membeli berlebihan dengan harga berapa pun untuk memastikan mereka memiliki cukup, dan konsumen melakukan hal yang sama dengan mengantre untuk “mengisi tangki mereka” ketika berminggu-minggu sebelumnya mereka akan memilikinya. Tidak berpikir apa-apa tentang mengemudi dengan pengukur gas mereka kosong. Ketika debu mereda, konsumen Amerika Serikat, yang telah membayar sekitar Rp 4.500 per galon untuk semua bahan bakar yang dapat diperolehnya beberapa bulan sebelumnya, sekarang membayar Rp 15.000 per galon atau lebih pada puncak krisis, dan menunggu dalam antrian untuk mendapatkan jumlah yang dijatah. Gambar 3.9 menunjukkan perubahan drastis.

Bagaimana itu bisa terjadi? Mudah. Krisis minyak pada tahun 1951 (penutupan Abadan oleh Iran), 1956 (penutupan Terusan Suez oleh Mesir), dan 1967 (embargo

Arab setelah Perang Enam Hari Juni) secara efektif dikelola oleh pemerintah bersama dan pengalihan industri minyak dari surplus kapasitas Amerika Serikat. Tetapi pada awal 1970-an tidak ada lagi kapasitas surplus untuk dialihkan—puncak produksi Amerika Serikat sebesar 11,3 juta barel minyak per hari terjadi pada 1970. Hingga 1970-an, industri minyak berfokus pada menahan produksi untuk mendukung harga. Sebagai jaminan atas tindakan ini, harga minyak yang relatif rendah memaksa tingkat investasi dan penemuan yang rendah, dan kuota impor membatasi pasokan. Tetapi permintaan yang meningkat menghapus kebutuhan akan taktik pengendalian produksi dan kapasitas surplus yang menyertainya.

“Kejutan kedua” terjadi setelah serangan minyak Iran dimulai pada November 1978. Iran adalah produsen minyak terbesar kedua, mengekspor 4,5 juta barel per hari. Pemogokan mengurangi ini menjadi 1 juta pada pertengahan November, dan ekspor berhenti sepenuhnya pada akhir Desember.



Gambar 3.9 Harga minyak dari tahun 1861–2006 (Sumber: Wikipedia—Dibuat oleh Michael Ströck, 2006. Dirilis di bawah GFDL).

Sementara hilangnya pasokan ini sebagian diimbangi oleh pemasok lain dalam OPEC, liputan jaringan TV yang berkembang, disiarkan secara bersamaan ke seluruh dunia, tentang kepergian Shah pertengahan Januari 1979 dan kedatangan Ayatollah Khomeini (bersama dengan peristiwa internal Iran lainnya) meyakinkan dunia. bahwa Iran tidak akan pernah kembali ke cara pro-Baratnya, dan memprakarsai penimbunan dan pembelian panik gaya 1973. Apa yang dimulai sebagai kekurangan 2 juta barel per hari menjadi 5 juta barel per hari karena pemerintah, perusahaan minyak, dan konsumen berebut pasokan. Penimbunan di

semua tingkatan memperburuk masalah, saluran gas muncul lagi, dan harga minyak turun dari Rp 195.000 sampai Rp 510.000 per barel (lihat Gambar 3.10).



Gambar 3.10 Embargo Minyak

Meskipun ekspor Iran kembali ke pasar pada Maret 1979, kecelakaan nuklir *Three Mile Island* yang tidak tepat waktu pada 28 Maret 1979 semakin meningkatkan kepanikan seputar kesadaran energi, di samping selamanya mengubah opini publik tentang tenaga nuklir. Beberapa faktor lain berkontribusi membuat krisis bensin yang terjadi selama 1979 di sebagian besar negara industri di dunia bebas lebih parah daripada krisis sebelumnya. Banyak kilang yang didirikan untuk memproses minyak mentah ringan Iran tidak dapat mengirimkan bensin sebanyak minyak mentah alternatif yang lebih berat yang terpaksa mereka tampung. Kebijakan yang tidak kooperatif (dan dalam beberapa kasus, saling bertentangan) oleh pemerintah federal, negara bagian, dan lokal serta perusahaan minyak mengganggu distribusi pasokan bensin yang tersedia secara teratur. Munculnya pedagang komoditas minyak, yang dapat memperoleh keuntungan besar dari permainan antara kontrak jangka panjang dan harga spot untuk minyak, secara artifisial menawar harga minyak spot sebagai tanggapan atas *buy-all-you-can-get* yang berlaku. Mentalitas dengan harga berapa pun. Garis bensin yang panjang dan penjumlahan mengganggu semua tingkat bisnis dan kehidupan pribadi. Pada saat krisis penyanderaan Iran dimulai, keadaan anarki terjadi di pasar minyak dunia sehingga embargo minyak Iran berikutnya oleh Presiden Carter dan pembekuan aset Iran tidak banyak membantu.

“Kejutan ketiga” terjadi dalam arah yang berlawanan misalnya harga turun. Kekuatan pasar yang mengoreksi diri sendiri yang beraksi setelah kekurangan atau

kekenyangan mencapai apa yang tidak bisa dilakukan oleh para pemimpin dunia, kali ini dengan sepenuh hati. Pada pertemuan OPEC Juni 1980, harga "resmi" rata-rata Rp 480.000 per barel, tetapi persediaan OPEC tinggi, dan mendekati resesi ekonomi menyebabkan harga dan permintaan turun di negara-negara konsumen, yang semakin membengkakkan surplus persediaan mereka. Ketika Irak menyerang Iran, salah satu langkah pertama dalam rencana perangnya adalah mengebom kilang Abadan (22 September 1980). Hasil bersih setelah pembalasan adalah bahwa ekspor minyak Iran berkurang selama perang, tetapi ekspor Irak hampir berhenti. Setelah Arab Saudi menaikkan harga dari \$32 menjadi Rp 510.000 per barel pada Oktober 1981, ledakan yang belum pernah terjadi sebelumnya terjadi, dan pengebor keluar dari pekerjaan kayu.

Kekhawatiran sebelumnya akan kekurangan pada awal 1920-an dan pertengahan 1940-an telah berakhir dengan surplus dan kelebihan karena kenaikan harga telah mendorong teknologi baru dan pengembangan daerah baru. Pola ini diulangi dengan Rp 510.000 per barel minyak. Harga minyak OPEC yang tinggi menciptakan peningkatan produksi non-OPEC di Meksiko, Alaska, dan Laut Utara, serta di Mesir, Malaysia, Angola, dan Cina. Inovasi teknologi meningkatkan eksplorasi, produksi, dan transportasi. Sementara itu, permintaan dibalikkan oleh resesi ekonomi, harga yang lebih tinggi, kebijakan pemerintah, dan pertumbuhan alternatif tenaga nuklir dan gas alam. Tidak hanya pangsa minyak dari pasar energi dunia menurun dari 53 persen pada tahun 1978 menjadi 43 persen pada tahun 1985, tetapi konservasi juga menyusutkan seluruh pasar—undang-undang CAFE Amerika Serikat tahun 1975 menggandakan jarak tempuh armada mobil menjadi 27,5 mil per galon pada tahun 1985, dan ini saja menghapus hampir 2 juta barel per hari dari sisi permintaan buku besar minyak dunia. Pada tahun 1985, jatuhnya permintaan dikombinasikan dengan penumpukan pasokan non-OPEC tanpa henti (dan semua orang membuang persediaan) mengurangi permintaan OPEC sebesar 13 juta barel per hari. Pada pertemuan puncak ekonomi Bonn Mei 1985, kelebihan kapasitas minyak di seluruh dunia melebihi pasokan sebesar 10 juta barel per hari, kebalikan dari situasi 1979, tetapi dua kali lebih buruk!

Minyak mentah West Texas Intermediate di pasar berjangka anjlok dari level tertinggi sepanjang masa di Rp 476.250 per barel pada November 1985 menjadi Rp 150.000 per barel hanya dalam beberapa bulan. Beberapa kargo Teluk Persia dijual hanya dengan Rp 90.000 per barel. "Pasar pembeli" berikutnya melihat pedagang komoditas minyak menjual minyak kepada siapa pun dengan harga berapa pun karena harga spot anjlok dan penjual bergegas keluar dari kontrak jangka panjang mereka. Pada saat debu mereda dan OPEC menetapkan harga minyak "resmi" baru sebesar Rp 270.000 pada Desember 1986, konsumen kembali bergembira, dan semua ketakutan akan kekurangan minyak permanen telah

ditiadakan. Sementara itu, kecelakaan nuklir Chernobyl pada April 1986 memberikan dorongan kesadaran lingkungan kepada publik yang sekarang sadar energi. Kecelakaan kapal tanker Exxon Valdez 1989 di Alaska semakin meningkatkan kesadaran ini. Ketika minyak dan kendaraan mesin pembakaran internal menuju ke tahun 1990-an, mereka menghadapi aliansi tripartit masalah: standar CAFE, standar lingkungan, dan pasokan yang tidak stabil didominasi oleh kepentingan asing.

Ketika “kejutan keempat” terjadi, invasi ke Kuwait oleh 100.000 tentara Irak pada Agustus 1990, hal itu menghilangkan pasokan minyak Kuwait dan Irak dari pasar dan sekali lagi membuat harga minyak naik. Saddam Hussein Irak memiliki masalah—perang delapan tahunnya dengan Iran dan pembelian senjata yang sangat besar telah membuatnya kehabisan uang, produksi minyaknya berantakan, dan popularitas politiknya di dalam negeri berpotensi terancam. Dia membutuhkan uang, minyak, dan ancaman eksternal baru untuk memusatkan perhatian warga Irak. Kuwait memiliki uang dan minyak dan berlokasi strategis di perbatasan. Hussein hanya perlu mendapatkan jaminan dari Departemen Luar Negeri AS bahwa mereka akan melihat ke arah lain, dan mengolok-olok beberapa klaim kedaulatan. (Irak telah mengklaim kepemilikan Kuwait sebelum OPEC pada tahun 1961, tepat setelah Kuwait merdeka dari Inggris, tetapi sebenarnya Kuwait berasal dari tahun 1756, mendahului asal Irak. Irak dibentuk dari tiga provinsi bekas kekaisaran Turki oleh Inggris pada tahun 1920.) Setelah melakukan kedua langkah ini, militer Saddam Hussein mungkin tidak memiliki masalah dalam mengirim pertahanan Kuwait dan mendudukinya dengan cepat. Sayangnya bagi Saddam Hussein, dia telah menginjak jugularis minyak dunia industri, ancaman tersirat adalah pertama Kuwait, kemudian Arab Saudi dan seluruh semenanjung, dan dominasi total pasokan minyak dunia. Belum pernah dunia industri bertindak begitu cepat (dan bersama-sama), dan Irak dikirim dalam waktu singkat. Untungnya bagi Saddam Hussein, dia tetap berjuang di hari lain.

Perang Irak-Kuwait, 9/11, dan sekarang Perang Irak baru dan akibatnya membawa prioritas nyata dari semua warga dunia industri, sekarang dihubungkan bersama oleh liputan berita jaringan TV waktu nyata, menjadi fokus yang jelas. Pasokan minyak asing (terutama Timur Tengah) yang membuat semuanya berjalan, dan akan terus, sangat rentan. Kita sekarang berada dalam guncangan kelima dengan harga minyak lebih dari \$140 per barel! Sementara mayoritas penduduk bumi terus mengendarai kendaraan mesin pembakaran internal mereka seolah-olah pasokan minyak aman dan tidak habis-habisnya, mengotori udara dengan polutan dan mengotori tanah, sungai, dan laut dengan produk sampingan beracun, semakin banyak individu yang bangun. Panggung diatur untuk meningkatkan tanggung jawab individu dan munculnya kembali kendaraan listrik.

Kendaraan Listrik Bangkit Kembali

Sementara kendaraan listrik dari segala jenis terus dibangun di Amerika Serikat dan luar negeri selama tahun 1920-an hingga 1950-an, kebangkitan minat Motor listrik secara langsung bertepatan dengan masalah lingkungan tahun 1960-an, serta yang pertama, kedua, keempat, dan kelima. Guncangan minyak dunia. Sayangnya, jeda di antara keempat gelombang ini, khususnya kelebihan kejutan oli ketiga, sama-sama bertanggung jawab untuk memperlambat pengembangan motor listrik lebih lanjut setelah setiap puncak minat. Apa yang menjamin dampak abadi dari gelombang keempat adalah persepsi universal berikut:

- Keamanan sumber minyak kita adalah masalah serius yang mempengaruhi seluruh dunia.
- Lingkungan kita dalam bahaya.
- Ada kebutuhan nyata untuk melestarikan sumber daya planet kita yang langka dan tidak terbarukan persediaan bahan bakar fosil.

Berkat keajaiban TV dan telekomunikasi global instan, hampir semua orang di dunia industri sekarang mengetahui hal ini. Warga individu dari negara-negara industri maju, yang terganggu oleh desakan hati nurani mereka yang semakin mendesak, merasa lebih sulit untuk melakukan "bisnis seperti biasa" jika itu melibatkan polusi udara, tanah, atau air, atau membuang-buang barang berharga, genting, dan tiba-tiba. Komoditas terbatas, minyak. Tulisan tangan ada di dinding. Masa kejayaan mobil-mobil yang boros bahan bakar telah hilang selamanya, begitu juga para pecandu yang menyemburkan asap. Meski begitu, ini menimbulkan pertanyaan pamungkas, cadangan minyak terbukti kita harus bertahan selama 40 tahun, seperti yang ditunjukkan pada Bab 2, lalu bagaimana? Apakah tidak ada cara yang lebih baik daripada minyak hari ini?

Tentu saja ada: kendaraan listrik dan sumber energi terbarukan. Tetapi sebelum mobil listrik dapat muncul kembali dalam jumlah banyak di jalan raya dan jalan raya kami, konsumen harus mempercayainya, dan perusahaan harus percaya bahwa mereka akan menguntungkan untuk diinvestasikan. Semua ini membutuhkan waktu. Menuju 2010, momentum tampaknya mendukung penggerak listrik sebagai teknologi yang berpotensi dominan, tetapi masih ada pekerjaan yang harus dilakukan.

Bagian ini akan mengeksplorasi bagaimana interaksi dari lima area yang berbeda membuat Mobil listrik bangkit kembali:

- Minat pada catatan kecepatan kendaraan listrik
- Minat pada catatan jarak kendaraan listrik
- Pengembangan asosiasi kendaraan listrik
- Pengembangan undang-undang AS
- Ekspansi ke teknologi penggerak listrik lainnya

Sisa bab ini akan menjeaskan bagaimana keempat gelombang mempengaruhi sejarah produksi Mobil Listrik di Amerika Serikat, Eropa, dan Jepang.

Pabrikan, sebagai tanggapan atas meningkatnya minat dan kesadaran publik, secara bertahap meningkatkan kesadaran mereka sendiri tentang kelayakan kendaraan listrik, dan membangun iklim pengembangan yang lebih terbuka. Ini mendorong inovasi teknologi dan, didorong oleh persaingan global antara perusahaan Amerika Serikat, Eropa, dan Jepang, menyebabkan munculnya kendaraan listrik modern yang canggih secara teknis saat ini.

Mengatur Panggung untuk Kendaraan Listrik

Bahkan mereka yang tidak berprofesi pemasaran tahu kekuatan dari mulut ke mulut. Orang-orang berbicara. Mereka memberi tahu orang lain tentang apa yang mereka sukai dan tidak sukai. Di bidang otomotif, mereka berbicara tentang catatan kecepatan dan jarak dan mobil. Mereka pergi ke pertemuan untuk melihat apa yang terjadi dan membaca tentang pertemuan yang mereka lewatkan. Ketika cukup banyak orang berkumpul dan berbicara dengan pemerintah tentang sesuatu, pemerintah mendengarkan. Catatan kecepatan dan jarak, asosiasi, undang-undang, dan peristiwa menempatkan motor listrik kembali di peta.

Kebutuhan akan Kecepatan

Di Bab 1 Anda membaca tentang "mitos kecepatan" dan mengetahui bahwa Anda dapat membuat kendaraan listrik melaju secepat yang Anda inginkan. Setiap langkah melibatkan motor yang lebih besar, lebih banyak baterai, rasio *power-to-weight* yang lebih baik, dan desain yang lebih ramping. Rekor kecepatan darat pertama dalam bentuk apa pun dibuat oleh kendaraan listrik pada tahun 1899 dengan kecepatan 66 mph. Pada tahun yang sama, tilang pertama yang diberikan kepada semua jenis kendaraan diberikan kepada taksi listrik Manhattan yang melaju dengan kecepatan 12 mph. Tepat setelah pergantian abad, Baker Electric melaju 104 mph.

Setelah minat listrik kembali, Autolite mencapai 138 mph pada tahun 1968, EaglePitcher menabraknya ke 152 mph pada tahun 1972, dan "Battery Box" Roger Hedlund mendorongnya ke 175 mph pada tahun 1974. Pada tahun 1992, Satoru Sugiyama, di Kenwood yang disponsori "Clean Liner," akan mencoba untuk 250 mph di Bonneville Salt Flats, menggunakan motor 650-hp Fuji Electric motor dari kereta peluru Jepang dan 113 baterai timbal-asam Panasonic. Sayangnya, kegagalan komponen sederhana mencegah berjalannya hari pertama, dan angin atau cuaca menghapus enam hari berikutnya dari jendela Speed Week-nya.

Ketika Anda mempertimbangkan bahwa pengaruh general mobil membersihkan Mazda Miata dan Nissan 300ZX dalam balapan dengan kecepatan 0 hingga 60 mph, seharusnya tidak ada pertanyaan dalam pikiran Anda bahwa kendaraan listrik saat ini dapat melaju dengan cepat dan sampai di sana dengan cepat. Jika Anda mengalami kesulitan dengan konsepnya, ingatlah bahwa T.G.V. kereta listrik secara rutin melaju 186 mph dalam perjalanan (dapat melaju 223 mph) dan kereta listrik X2000 buatan Swedia mengendarai koridor Washington, DC ke New York dengan kecepatan 125 mph (dapat mencapai 155 mph) mulai awal 1993. Kereta listrik tidak lebih dari sebuah kendaraan listrik di trek (dan dengan kabel panjang!). Sementara itu, tidak ada yang mengatakan kendaraan listrik lemah di departemen kecepatan lagi.

Perlunya Jarak

Anda juga mendengar "mitos jangkauan" dibantah di Bab 1; dimungkinkan untuk membangun mobil listrik dengan rentang yang sebanding dengan banyak kendaraan pembakaran internal tradisional.

- Pada tahun 1900, seorang B.G.S. Listrik berjalan 180 mil dengan sekali pengisian baterai.
- Sebuah truk Nissan EV-4H menempuh jarak 308 mil dengan baterai timbal-asam pada tahun 1970-an.
- Horlacher Sport mendorongnya menjadi 340 mil menggunakan baterai natrium-sulfur Asea Brown Boveri pada tahun 1992 dan BAT International meningkatkannya hingga 450 mil di akhir tahun menggunakan baterai/elektrolit eksklusif dalam Geo Metro yang dikonversi. Horlacher rata-rata hampir 75 mph selama periode pengujian 10 jamnya, kecepatan yang mengesankan. BAT Geo Metro dikendarai dengan kecepatan 35 mph yang lebih tenang.

Seharusnya tidak ada pertanyaan di benak Anda bahwa kendaraan listrik bisa melaju jauh. Mengingat fakta bahwa kebanyakan orang Amerika rata-rata kurang dari sembilan mil perjalanan, dan listrik ada di mana-mana di sebagian besar wilayah perkotaan Amerika, kendaraan listrik tidak lebih mungkin kehabisan air daripada kendaraan pembakaran internal akan kehabisan bensin, tentu saja lebih kecil kemungkinannya. Daripada kehabisan solar atau salah satu bahan bakar alternatif baru yang tidak dibawa di setiap stasiun pengisian bahan bakar.

Kebutuhan untuk Asosiasi

Ada dua jenis asosiasi yang dimulai pada periode ini: untuk kepentingan pemerintah dan komersial, dan untuk individu. Jenis pemerintah/komersial dapat dibagi lagi menjadi asosiasi untuk berbagi informasi (Inggris membentuk yang pertama pada tahun 1934); asosiasi untuk melobi (seperti *Electric Vehicle Council*, *Electric Vehicle Development Corporation*, dan *Electric Vehicle Association of the*

Americas, sekarang dikenal sebagai *Electric Drive Transportation Association*); dan asosiasi konsorsium untuk memajukan penelitian seperti *US Advanced Battery Consortium* dan CALSTART.

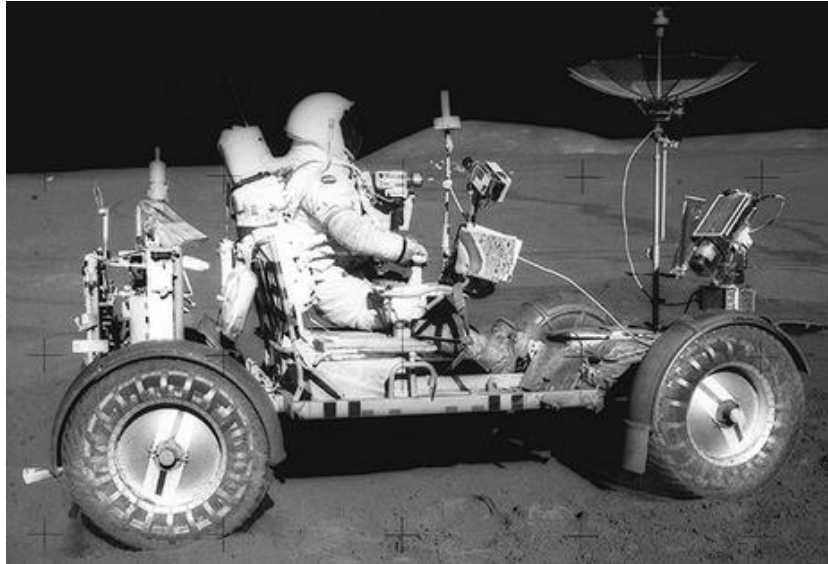
Tidak semua asosiasi pemerintah/komersial untuk berbagi informasi dibuat setara. Asosiasi Inggris sangat "longgar", tetapi memiliki populasi Mobil Listrik terbesar di dunia pada tahun 1970-an — sekitar 150.000 kendaraan dari semua jenis. *Clearinghouse Jerman Gesellschaft für Elektrischen Strassenverkehr* (GBR), anak perusahaan dari utilitas listrik terbesar mereka, berperan penting dalam memfokuskan upaya mobil listrik Jerman; dan Asosiasi Kendaraan Listrik Jepang, di bawah bimbingan Kementerian Perdagangan dan Industri Internasional (MITI), memberi mereka pernyataan misi mobil listrik definitive, dsan berfokus pada akselerasi dan jangkauan perkotaan. Berbeda dengan upaya Inggris sebelumnya, dan upaya kendaraan listrik terfokus di negara Jerman dan Jepang pada 1970-an, Amerika Serikat tidak memiliki upaya industri terfokus sampai konsorsium USABC dan CALSTART pada 1990-an.

Meskipun anggota individu dari *Electric Auto Association* (dibentuk pada tahun 1967) adalah "suara di hutan belantara" selama periode ini, mereka membuat semakin sulit bagi orang untuk mengatakan "itu tidak bisa dilakukan" setelah mereka melakukannya.

Kebutuhan akan Legislasi A.S

Merupakan teka-teki bahwa kami memiliki undang-undang (program Apollo yang dipandu Badan Penerbangan dan Antariksa Nasional yang didanai pemerintah AS) untuk menempatkan kendaraan listrik di bulan sebelum kami memiliki undang-undang untuk mengembangkan kendaraan listrik di bumi.

Ketika tagihan pertama diperkenalkan di Kongres pada tahun 1966 untuk mensponsori kendaraan listrik sebagai sarana untuk mengurangi polusi udara, kontraktor yang didanai pemerintah memiliki prototipe Lunar Rover mobil listrik yang sudah bekerja di fasilitas mereka. Sementara pro dan kontra motor listrik diperdebatkan selama berbagai dengar pendapat kongres di awal 1970-an, yang mengarah pada pengesahan Undang-undang Publik 94-413, Undang-Undang Penelitian, Pengembangan dan Demonstrasi Kendaraan Listrik dan Hibrida tahun 1976, kendaraan listrik Lunar Rover telah sudah tampil sempurna di bulan selama tiga misi Apollo 1971 dan 1972 yang terpisah.



Gambar 3.11 Kendaraan Apollo 17 Lunar River di bulan dengan astronot Eugene A. Ceman sebagai pengontrolnya.

Lunar Rover, yang ditunjukkan pada Gambar 3.11, dioptimalkan untuk bobot yang ringan. Itu memiliki empat motor DC seri 0,25-hp, satu di setiap roda, dan roda anyaman kawat dan bingkai aluminium yang memberinya hanya 462-lb. berat (yang bisa membawa muatan 1.606-lb). Baterai perak-seng yang tidak dapat diisi ulang memberikan jangkauan 57 mil satu kali yang memadai dan kecepatan 8 mph. Pelancong bulan masa depan hanya perlu membawa satu set baterai baru — tiga Lunar Rovers sudah ada di sana.

Intinya adalah, undang-undang dan pendanaan berikutnya, bersama dengan fokus dan penekanan yang diberikan dengan mengkonsolidasikan fungsi energi federal utama menjadi satu Departemen Energi tingkat Kabinet pada tahun 1977, adalah komponen penting. Sampai potongan-potongan ini ada, pengembangan dan pembaruan kendaraan listrik tidak dapat dilanjutkan.

Tetapi sementara program ETV-I dan ETV-II awal yang didanai pemerintah pada tahun 1977 memberikan dorongan untuk memulai kembali aktivitas kendaraan listrik, jelas bahwa undang-undang dan pendanaan pemerintah merupakan awal yang paling sederhana, bukan jalan untuk memperkenalkan kendaraan listrik secara luas. angka. Kesaksian salah satu eksekutif General Motors pada audiensi Kongres Juni 1975 menegaskan poin tersebut: “General Motors tidak percaya bahwa banyak yang dapat diperoleh dengan mensubsidi penjualan kendaraan listrik ... kami merasa bahwa membangun lebih banyak kendaraan listrik adalah pemborosan sumber daya.”

Lima belas tahun kemudian, pembuat mobil terbesar di dunia itu tampaknya mengalami perubahan pendapat (walaupun itu tidak berlangsung lama di awal tahun 2000-an). Sebuah artikel Tren Motor Agustus 1991 mencatat, "Di antara semua pembuat mobil, General Motors sejauh ini adalah yang paling vokal dalam mendukung mobil listrik sebagai alternatif nyata di pasar Amerika Serikat."

Sebagian besar antusiasme pembuat mobil terhadap kendaraan listrik selama periode ini dapat ditelusuri dari dukungan pemerintah. Konsorsium Baterai Lanjutan Amerika Serikat (yang utamanya adalah General Motors, Ford, dan Chrysler, dengan partisipasi Departemen Energi), konsorsium CALSTART (melibatkan utilitas dan perusahaan besar dan kecil dirgantara/teknologi tinggi termasuk Hughes, yang saat itu merupakan anak perusahaan dari General Motors) , dan lembaga penelitian yang digerakkan oleh Inisiatif Udara Bersih Los Angeles memberikan dukungan untuk penelitian dan pengembangan baterai canggih dan teknologi kendaraan listrik lainnya.

Saat kita kembali ke era lain kendaraan plug-in, ini dan upaya kolaboratif lainnya telah mengalami kebangkitan setelah beberapa tahun tampaknya relatif tidak aktif.

Kebutuhan Acara Event

Beberapa orang adalah pemikir, yang lain adalah pelaku, beberapa hanya suka bermain-main dan motor listrik menyediakan lahan subur untuk ketiga tipe tersebut.

- Pemikir dapat menghadiri simposium; yang terbesar dan paling terkenal adalah *Electric Vehicle Symposium (EVS)*, yang telah diadakan di kota-kota seperti Paris; Washington DC; Toronto; Hongkong; Milan; dan Anaheim.
- Pelaku dapat pergi ke balapan dan reli jalan; apa yang dimulai sebagai MIT versus *Cal Tech Great Electric Vehicle Race* tahun 1968 berkembang menjadi kerumunan besar dan beberapa kelas dari balapan Phoenix 500 pada 1990-an. Asosiasi Energi Berkelanjutan Timur Laut (NESEA) mengadakan acara Tour De Sol, yang memungkinkan anak-anak di sekolah menengah dan perguruan tinggi untuk berlomba dengan kendaraan listrik prototipe dan juga mengadakan acara di setiap bagian perlombaan untuk mempromosikan mobil listrik dan penggerak listrik.
- Dalam beberapa tahun terakhir, Asosiasi Balap Drag Listrik Nasional telah menjadi terkenal, seperti halnya balapan seperti "Power of DC" di Washington, DC, dan "Battery Beach Burnout" di Florida Selatan. Cabang dari *Electric Auto Association* telah mengadakan rapat umum jalan raya sejak 1968. Beberapa menganggap tantangan terbesar (dan yang terbesar dari semua aksi publisitas) adalah *World Solar Challenge*: perlombaan 1.900 mil melintasi pedalaman

Australia menggunakan motor ukuran kopi hanya bisa ditenagai oleh sinar matahari.

3.2.6 Tahun 1990-2000-an

Kekhawatiran lingkungan dan konservasi menempatkan gigi nyata kembali ke upaya kendaraan listrik, dan bahkan *General Motors* mendapat pesan. Memang, *General Motors* melakukan perubahan total dan memimpin parade ke kendaraan listrik. Dimulainya kembali minat pada kendaraan listrik selama gelombang ini dipimpin oleh perkembangan legislatif, koperasi, dan teknologi yang belum pernah terjadi sebelumnya.

Kendaraan listrik tahun 1990-an juga mendapat manfaat dari peningkatan teknologi elektronik, karena jarak tempuh tahun 1980-an dan persyaratan emisi semakin memaksa produsen otomotif untuk mencari solusi melalui elektronik. Meskipun minat kendaraan listrik dalam jeda selama tahun 1980-an, dekade yang sama melihat peningkatan seratus kali lipat dalam kemampuan perangkat elektronik *solid-state*. Sirkuit terpadu kecil menggantikan komputer yang memenuhi seluruh ruangan dengan komputer di desktop Anda pada awal 1980-an, dan dengan komputer yang dapat dipegang di telapak tangan Anda pada awal 1990-an.

Perkembangan di ujung lain spectrum atau singkatnya seperti perangkat berdaya tinggi, sama dramatisnya. Apa pun mekanik yang bisa digantikan oleh elektronik adalah, untuk menghemat berat dan daya (energi). Perangkat *solid-state* tumbuh semakin berotot dalam menanggapi kebutuhan yang terus meningkat ini. Baterai menjadi target fokus kemitraan pemerintah-industri yang didanai dengan baik di seluruh dunia; baterai timbal-asam, natrium-sulfur, nikel-besi, dan nikel-kadmium maju ke tingkat kinerja yang baru. Semua orang diam-diam mulai melihat kemungkinan yang menggiurkan dari baterai lithium-polimer.

Tabel 3.2 membandingkan spesifikasi kendaraan listrik dari produsen otomotif besar pada awal 1960-an hingga 1990-an. Sepintas, Tabel 3.2 tampaknya merupakan langkah mundur dari pencapaian Jepang pada tahun 1970-an seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1. Tapi kesan pertama menyesatkan. Kendaraan listrik 1990-an menawarkan peningkatan teknologi substansial di bawah kap, lebih hemat energi, dan lebih dekat untuk menjadi produk manufaktur daripada platform uji rekayasa.

Enam tren menyoroti perkembangan mobil listrik selama gelombang keempat ini:

- Aktivitas tingkat tinggi di *General Motors*, Ford, dan Chrysler
- Peningkatan kekuatan yang diciptakan oleh produsen independen baru

- Prototipe baru dan lebih baik
- Aktivitas tingkat tinggi di luar negeri
- Aktivitas hibrid tingkat tinggi
- Sebuah ledakan dalam konversi kendaraan pembakaran internal individu individual

Menjelang tahun 1990-an, *General Motors* melakukan pemanasan ke mobil listrik melalui serangkaian acara. Pertama, *General Motors* memutuskan untuk mengikuti *Australian World Solar Challenge 1987*, sebuah proyek yang diperjuangkan dari dalam oleh Howard Wilson, saat itu wakil presiden Hughes. Mereka meminta bantuan kepada sebuah perusahaan kecil bernama AeroVironment, yang didirikan oleh Paul MacCready. MacCready telah memenangkan hadiah untuk penerbangan bertenaga manusia terpanjang dengan "Gossamer Condor" yang sangat ringan dan efisien pada tahun 1977, dan untuk pesawat bertenaga manusia pertama yang melintasi Selat Inggris dengan "Gossamer Albatross" pada tahun 1979; Selain itu, "Solar Challenger" bertenaga suryanya terbang 163 mil dari Paris ke pantai Inggris pada tahun 1981. AeroVironment sekarang mendapat tantangan utama dari *General Motors* — menciptakan kendaraan yang mampu menempuh 1.900 mil melintasi pedalaman Australia hanya dengan tenaga surya. AeroVironment melakukannya. "Sunracer" pemenang *General Motors* mengalahkan kompetisi dengan 2½ hari, membuktikan apa yang mungkin dengan penggerak listrik.

Tabel 3.2 Perbandingan Kendaraan Listrik Tahun 1990-an

	GM	Mobil Ford Ecostar	Mobil Chrysler Epic	BMW	Mobil Nissan FEV
Rentang (mil)	Mobil benturan	100	120	mobil E2	150
Kecepatan tertinggi (mph)	120	65	65	150	80
Powertrain	75	75 hp ac	65 hp dc	75	2 ea 27 hp ac
Baterai	2 ea 54 hp ac	Natrium-belerang	Nikel-besi	45 hp dc	Nikel-kadmium1
Berat trotoar (lbs)	timbangan	3100	3200	Natrium-belerang	1980



Gambar 3.12 Kendaraan listrik *General Motors Impact*, yang kemudian diubah menjadi motor listrik.

MacCready dan Wilson bertanya-tanya apa yang mungkin terjadi dengan kendaraan penumpang listrik. Wilson dapat mengajukan pertanyaan itu secara pribadi kepada Bob Stemple, yang meminta persetujuan pada tahun 1988 oleh ketua Roger Smith, dan sisanya, seperti yang mereka katakan, adalah sejarah.

Kendaraan listrik GM's Impact, yang ditunjukkan pada Gambar 3.12, memulai debutnya dengan tepat di Los Angeles Auto Show Januari 1990, dan segera menarik perhatian dunia otomotif. Menawarkan jangkauan 50 hingga 70 mil ("Gen II" EV1 dengan baterai NiMH menyediakan jangkauan 120-140 mil), waktu 0 hingga 60 di bawah 8 detik, kemampuan jalan bebas hambatan 80 mph dalam paket licin yang memiliki koefisien drag 0,19 (masih mobil produksi paling aerodinamis yang pernah dibuat), Impact bukanlah kendaraan listrik kakek nenek Anda. Untuk sementara waktu, *General Motor* terus menunjukkan jalannya kepada dunia.

Dengan filosofi "lakukan lebih banyak dengan lebih sedikit", MacCready sendiri memberikan banyak inspirasi: "Tidak ada yang pernah mencoba membangun mobil super efisien dari awal. Itu karena tidak ada yang pernah membutuhkannya. Energi selalu murah dan pengendalian polusi relatif baru, sehingga pembuat mobil tidak perlu memberikan perhatian fanatik pada efisiensi."

General Motor menghasilkan 50 Dampak dan meminjamkannya kepada utilitas, pemerintah daerah, dan individu untuk memberikan umpan balik tentang kemampuan kinerja dan persyaratan pengguna dalam program inovatif yang dikenal sebagai "*PreView Drive*," yang berlangsung dari 1994 hingga 1996. Sementara itu, *General Motor* melindungi taruhannya dengan bekerja pada minivan konsep I-IX3 hybrid yang menggunakan generator 40-kW bertenaga

bensin untuk memperluas jangkauan dua motor listrik penggerak roda depan AC 60-hp.

Ford punya ide yang berbeda; dengan menggunakan van Escort Eropa sebagai platform, membangun teknologi baterai natrium-sulfur yang ditemukannya pada tahun 1965, dan menerapkan pengalaman drivetrain ETX-I dan ETX-B tahun 1980-an, Ford berharap dapat melompati pesaingnya dan menjadi yang pertama dalam produksi dengan 80 van Ford Ecostar (lihat Gambar 3.13) yang direncanakan untuk didistribusikan ke pelanggan armada pada tahun 1994. Ford serius—manajemen, sumber daya, perkakas, dan fasilitas telah disiapkan. Beratnya mencapai 3.100 lbs. dan digerakkan oleh motor induksi AC 75-hp yang dikontrol solid state digabungkan ke penggerak roda depan terintegrasi dan ditenagai dari baterai natrium-sulfur, spesifikasi Ford Ecostar sangat mengesankan pada saat itu—75 mph dan jangkauan 100 mil, dengan kemampuan untuk membawa 850-lb. muatan. Semua itu membuat penulis otomotif Dennis Simanaitis berkomentar dalam *Automobile* edisi Februari 1993, "Kendaraan listrik pertama yang mungkin Anda lihat adalah yang paling transparan yang pernah kami kendarai sejauh ini."

Chrysler mengambil pendekatan lain, membangun TEVan ("T" untuk platform minivan T-115, "E" untuk listrik). Elektronik, drivetrain, dan baterai yang sudah terbukti yang diangkat dari TEVan mereka digunakan dalam van Epic generasi berikutnya yang lebih ringan, ditunjukkan pada Gambar 3.14, memberikan mereka persamaan langsung dalam spesifikasi kinerja (lihat Tabel 3.2).



Gambar 3.13 Kendaraan listrik van Ford Ecostar.

Peraturan di California

Periode ini awalnya menandai kebangkitan singkat kendaraan pembakaran internal, terutama mobil yang lebih besar, truk, dan kendaraan sport (SUV). Mandat ZEV di California menciptakan reaksi terhadap kendaraan listrik oleh

pembuat mobil, yang tidak ingin disahkan untuk membangun apa pun, apalagi sesuatu selain produk pembakaran internal inti mereka. Setelah pembuat mobil bersatu dengan pemerintah federal dan memulai proses hukum terhadap negara bagian California, Dewan Sumber Daya Udara California mencabut Mandat ZEV (sekarang dikenal sebagai Program ZEV), secara efektif membebaskan pembuat mobil dari keharusan membangun kendaraan listrik sama sekali. Setelah pembuat mobil tidak lagi diharuskan memasarkan kendaraan listrik, program kendaraan listrik dengan cepat dihentikan.

Selama fase ini, teknologi kendaraan lain dianut hingga tingkat yang berbeda oleh para pembuat mobil. Program Kemitraan untuk Kendaraan Generasi Baru, di bawah pemerintahan Presiden Clinton, mendorong pengembangan kendaraan hibrida berbahan bakar bensin oleh pembuat mobil domestik. Sementara Detroit tidak pernah benar-benar menggunakan mobil hibrida selama fase ini, semangat kompetitif memaksa pembuat mobil Jepang untuk melakukannya. Hal ini menyebabkan kendaraan populer seperti hibrida Honda Civic dan Toyota Prius, dengan sebagian besar mobil besar akhirnya menawarkan setidaknya satu model hibrida. Di antara pembuat mobil domestik, hidrogen menjadi bahan bakar alternatif pilihan untuk mobil konsep baru, yang disertai dengan janji untuk memasarkan kendaraan ini secara massal pada tahun 2010. Menjelang akhir dekade ini, sekitar 175 kendaraan sel bahan bakar hidrogen telah digunakan dalam uji coba armada, tetapi tidak ada yang muncul di ruang pamer.



Gambar 3-14 Kendaraan listrik van Chrysler Epic.

Ketika kesadaran publik tentang masalah seputar ketergantungan minyak bumi—perubahan iklim, ketidakstabilan politik, dan masalah kesehatan masyarakat karena kualitas udara yang buruk, untuk beberapa nama telah meningkat, gelombang tampaknya berbalik ke arah kendaraan *plug-in*. Ini telah dirangsang baik di tingkat massal oleh perangkat budaya pop seperti *An Inconvenient Truth* dan *Who Killed the Electric Car?* (film dokumenter # 1 dan # 3 tahun 2006, masing-

masing) serta pada tingkat yang sangat pribadi dengan kenaikan harga bensin. Semakin banyak kendaraan *plug-in*, yang pernah dilihat sebagai pilihan lingkungan yang renyah, mengumpulkan dukungan bipartisan karena mereka yang peduli dengan keamanan energi mulai merangkul alternatif menggunakan listrik domestik yang murah, bersih, untuk menggerakkan kendaraan alih-alih kendaraan asing, mahal. Minyak bumi yang relatif kotor. Dengan koalisi dukungan yang luas ini dan penurunan penjualan mobil, para pembuat mobil tidak punya banyak pilihan selain bergabung dengan alternatif yang lebih baru untuk kendaraan pembakaran internal.

Teknologi baru juga telah merangsang antusiasme; selain kendaraan listrik, pembuat mobil telah mulai mengerjakan kendaraan listrik berkecepatan rendah, kendaraan listrik hibrida, kendaraan listrik hibrida *plug-in* (PHEVs) (yang menggabungkan sejumlah mil listrik, dengan "jaring pengaman" dari propulsi hibrida sistem), dan orang-orang membangun mobil listrik mereka sendiri. Tergantung pada konfigurasi kendaraan, pengemudi mungkin hanya mengemudi dalam mode listrik untuk perjalanan mingguan mereka, dan menggunakan bensin hanya saat mengemudi jarak jauh. Konsep "terbaik dari kedua dunia" ini telah memperbarui antusiasme untuk kendaraan listrik juga, dan kedua jenis kendaraan *plug-in* mendapat manfaat dari teknologi baterai lithium-ion yang lebih baru, yang menyimpan lebih banyak energi daripada jenis timbal-asam dan nikel-logam hidrida sebelumnya, , memberikan jangkauan yang lebih jauh.

Perundang-undangan memberikan wortel dan tongkat untuk memulai pengembangan motor listrik. California memulai semuanya dengan mengamanatkan bahwa 2 persen dari setiap armada mobil baru pembuat mobil terdiri dari kendaraan tanpa emisi (dan hanya teknologi kendaraan listrik yang dapat memenuhi aturan ini) mulai tahun 1998, meningkat menjadi 10 persen pada tahun 2003. Ini berarti 40.000 kendaraan listrik di California pada tahun 1998, dan lebih dari 500.000 pada tahun 2003. California dengan cepat bergabung dalam aksinya oleh hampir semua negara bagian Timur Laut (pada akhirnya, negara bagian yang mewakili lebih dari setengah pasar kendaraan di Amerika Serikat memiliki mandat bergaya California di tempat)—cukup keras! Selain itu, untuk tujuan CAFE, setiap kendaraan listrik yang terjual dihitung sebagai mobil 200 hingga 400 mpg di bawah Undang-Undang Bahan Bakar Alternatif 1988. Tetapi undang-undang juga memberikan wortel. California memberikan berbagai insentif finansial, dengan total hingga Rp 135.000.000 untuk pembelian kendaraan listrik, serta insentif nonfinansial, seperti akses jalur HOV dengan hanya satu orang. Undang-Undang Kebijakan Energi Nasional tahun 1992 mengizinkan kredit pajak federal 10 persen hingga Rp 60.000.000 pada harga pembelian sebuah kendaraan listrik. Negara-negara lain mengikuti. MITI Jepang menetapkan target 200.000 EV

domestik yang digunakan pada tahun 2000; dan baik Prancis maupun Belanda memberlakukan insentif pajak serupa untuk mendorong pembelian kendaraan listrik.

Program California dirancang oleh California Air Resources Board (CARB) untuk mengurangi polusi udara dan tidak secara khusus mempromosikan kendaraan listrik. Peraturan tersebut awalnya mensyaratkan “kendaraan tanpa emisi” sederhana, tetapi tidak menentukan teknologi yang diperlukan. Pada saat itu, kendaraan listrik dan kendaraan sel bahan bakar hidrogen adalah dua jenis kendaraan yang diketahui akan mematuhi; karena sel bahan bakar (dan tetap) dipenuhi dengan tantangan teknologi dan ekonomi, kendaraan listrik muncul sebagai teknologi pilihan untuk memenuhi hukum. Akhirnya, di bawah tekanan dari berbagai produsen, dan pemerintah federal, CARB mengganti persyaratan nol emisi dengan persyaratan gabungan dari sejumlah kecil ZEV untuk mempromosikan penelitian dan pengembangan, dan sejumlah besar kendaraan emisi nol parsial (PZEVs), sebuah sebutan administratif untuk kendaraan emisi super ultra rendah (SULEVs), yang memancarkan sekitar 10 persen dari polusi kendaraan emisi rendah biasa dan juga disertifikasi untuk nol emisi evaporatif. Meskipun efektif dalam mencapai sasaran polusi udara yang diproyeksikan untuk persyaratan nol emisi, efek pasarnya adalah mengizinkan manufaktur besar untuk segera menghentikan program BEV publik mereka.

Sejak program mobil listrik dihancurkan, pasar telah mengembangkan selera yang luas untuk mobil listrik hibrida dan mobil bensin yang lebih bersih. *General Motor* EV1 (lihat Gambar 3.15 dan 3.16) dan EV2, minivan Epic Chrysler, dan Ford Ranger, serta Honda EVPlus, Nissan Hypermini, dan Toyota RAV4 dan mobil listrik Toyota, ditarik dan dimusnahkan. Sekitar 1.000 kendaraan ini tetap berada di tangan swasta, karena tekanan publik dan kampanye yang dilakukan oleh organisasi akar rumput seperti “*dontcrush.com*” (sekarang dikenal sebagai *plug-in America*), *Rainforest Action Network*, dan *Greenpeace*. Bertentangan dengan klaim pembuat mobil tentang permintaan yang lemah untuk mobil listrik, kendaraan ini sekarang sering menjual lebih banyak di pasar sekunder daripada saat masih baru. Seluruh episode menjadi dikenal sebagai bencana sehingga melahirkan film dokumenter panjang fitur, disutradarai oleh mantan pengemudi EV1 dan aktivis Chris Paine, berjudul *Who Killed the Electric Car?*, yang ditayangkan perdana di Sundance Film Festival 2006 dan dirilis di bioskop oleh Sony Pictures Klasik.



Gambar 3.15 *General Motor EV1* (Sumber: Russ Lemons).



Gambar 3.16 Kendaraan listrik *General Motor EV1* dihancurkan, seperti yang terlihat pada *Who Killed the Electric Car?*

9/11, Oli, dan Pemahaman Baru Kami tentang Mobil Listrik

Dapat dimengerti, serangan terhadap *World Trade Center*, *Pentagon*, dan pesawat yang jatuh di *Pennsylvania* pada 11 September 2001 dengan jelas menunjukkan bahwa ketergantungan kita pada minyak impor merusak keamanan nasional dan keuangan kita. Dengan minyak mencapai lebih dari Rp 2.100.000 per barel baru-baru ini menciptakan kebangkitan, penerimaan, dan pemahaman bahwa kita membutuhkan mobil listrik. 11 September juga mengakhiri periode harga minyak yang rendah dan stabil. Saya ingat menyaksikan menara terbakar dan berkata kepada seorang rekan bahwa segalanya tidak akan pernah sama lagi. Sekarang, kita dihadapkan pada diskusi serius tentang ketahanan energi, mengurangi ketergantungan kita pada minyak impor dan juga dampak lingkungan di dunia kita.

Kebangkitan General Motors—Volt

Gambar 3.15 juga menunjukkan bagaimana apa yang terjadi akan terjadi. Mobil listrik telah kembali ke *General Motor* sejak mobil listrik telah bersama sejarah otomotif Amerika kita sejak awal mobil. Peristiwa ironis tentang minyak, keamanan nasional, dan perubahan iklim menunjukkan sisi yang menarik bagi

General Motors dan pemahaman mereka tentang perlunya mobil listrik untuk membantu menstabilkan perekonomian kita. Sementara Volt direncanakan menjadi hibrida *plug-in*, ia dimulai sebagai insinyur dan desainer, membangun kendaraan listrik *General Motors* sendiri.

Pada bulan Januari 2006, Bob Lutz, Wakil Ketua Umum Motors, salah satu pendukung utama yang awalnya untuk menghancurkan program EV1 sekarang menjadi pragmatis yang percaya elektrifikasi mobil adalah satu-satunya cara untuk melestarikan budaya mobil Amerika. "Kami bingung tentang apa yang harus dilakukan untuk melawan gelombang pasang PR positif untuk Toyota," kata Lutz. Bulan itu, *General Motors* datang dengan Volt.

Bahkan Rick Wagoner, Presiden *General Motors* bukan lagi pendukung kendaraan elektrik untuk mobil listrik. Tapi kemudian Badai Katrina membuat harga minyak melonjak. Bagi Wagoner, itu adalah tanda betapa bergejolaknya pasar minyak dan pertanda. Bahkan kebijakan energi pemerintahan Bush yang banyak difitnah pun berubah: Dalam pidato kenegaraannya, Presiden mendesak Kongres untuk memberlakukan aturan penghematan bahan bakar yang lebih ketat. Pada Januari 2008, Volt telah menjadi inti dari strategi hijau *General Motors*.

Apakah CEO *General Motors* menyesal tidak bergerak lebih cepat? Anda yakin dia melakukannya. Wagoner berharap dia tidak membunuh EV1. Dan dia mengakui meremehkan munculnya masyarakat konsumen di Cina dan India akan membantu menempatkan dasar \$100 di bawah harga minyak. Hari ini, semua itu tidak penting. Pertanyaan yang membayangi adalah apakah Wagoner dapat menepati janjinya. "Ini adalah tantangan terbesar yang kami lihat sejak awal industri ini," katanya. "Itu memengaruhi semua hal yang kita pikirkan." (Sumber: David Welsh, *General Motors: Live Green or Die*, *Business Week*, 26 Mei 2008, Halaman 38–39.)

Wagoner menambahkan dalam sebuah wawancara baru-baru ini di PBS, "Kami memiliki sekitar 100 tahun industri otomotif di mana 98 persen energi untuk menggerakkan kendaraan berasal dari minyak. Kami benar-benar akan mengubahnya selama periode waktu berikutnya, hal-hal seperti pengembangan baterai dan penerapan baterai ke mobil, seperti yang kami rencanakan dengan Volt, adalah langkah penting, semacam, dalam 100 tahun ke depan. industri otomotif."

(Sumber: www.pbs.org/newshour/bb/transportation/jan-june08/electriccars_06-25.html)

Selain *General Motors* melihat cahaya setelah 9/11, perusahaan mobil konversi seperti Grass Roots mobil listrik Steve Clunn melihat peningkatan permintaan

konversi mobil listrik. Semakin banyak orang telah membeli konversi mobil listrik, mobil listrik, kendaraan listrik kecepatan rendah, mobil listrik hibrida, dan mobil listrik hibrida *plug-in*. Perusahaan mobil, publik, media, dan pasar bebas mulai menerima sepenuhnya kenyataan bahwa mobil listrik perlu menjadi bagian dari masa depan otomotif kita.

3.3 Mobil Listrik Abad 21

Apa yang terjadi akan terjadi, seperti kata pepatah. Orang-orang telah membangun mobil listrik berbasis komuter yang mendapatkan banyak perhatian dan kini meningkat penjualannya. Tango oleh Commuters Cars Corporation (lihat Gambar 3.17), Corbin Sparrow, dan Phoenix Motorcars adalah contoh yang bagus. Meskipun terlihat berbeda dari kebanyakan mobil, mereka bertenaga listrik, melaju lebih dari 70 mph, dan memiliki jangkauan yang signifikan (100 mil plus).

Seperti yang telah kita lihat, orang telah berhasil mengubah kendaraan pembakaran internal menjadi motor listrik setidaknya selama 35 tahun terakhir. Seluruh periode ini ditandai dengan hampir tidak adanya komentar tentang aktivitas ini dari para penentang.

Sungguh ironis bahwa sementara mobil listrik ada sebelum mesin pembakaran internal, dan juga akan ada setelah mereka, pemikiran umum hari ini adalah bahwa perkembangan mobil listrik telah mengikuti jalur dari gas, ke gas hybrid, ke *plug-in* - hibrida, menjadi listrik.

3.3.1 Tesla

Tesla Motors adalah perusahaan startup mobil Silicon Valley, yang meluncurkan Tesla Roadster 185 kW (248hp) pada 20 Juli 2006. Pada Maret 2008, Tesla telah memulai produksi reguler Roadster tersebut.

Roadster memiliki penggerak AC yang luar biasa dengan desain baru, pengontrol baru, motor baru, dan subsistem baterai baru.

Tesla Roadster, yang ditunjukkan pada Gambar 3.18, memberikan ketersediaan performa penuh setiap saat Anda berada di dalam mobil, bahkan saat berada di lampu merah. Torsi puncaknya dimulai pada 0 rpm dan tetap bertenaga pada 13.000 rpm. Hal ini membuat Tesla Roadster enam kali lebih efisien dari mobil sport terbaik sekaligus menghasilkan sepersepuluh polusi dengan jangkauan 220 mil.

Tesla Model S direncanakan untuk pengiriman 2010. Perkiraan biaya adalah Rp 900.000.000 dengan model Rp 450.000.000 yang direncanakan nanti.

Tesla adalah perusahaan kendaraan listrik berjenis mobil sport mengusung tema "*build your own*" yang hebat lainnya untuk dilihat massa dan bersemangat tentang masa depan mobil listrik hari ini. Bagian terbaiknya adalah mereka ingin membuat lebih banyak kendaraan dengan biaya Rp 450.000.000.



Gambar 3.17 Tango dari Perusahaan Mobil Komuter.



Gambar 3-18 Tesla Roadster.

3.3.2 eBox

eBox / Kotak elektronik adalah contoh paling murni dan terbaik untuk membangun kendaraan listrik Anda sendiri menggunakan platform kendaraan yang ada. Ambil motor listrik yang sudah ada, seperti Scion, akali dengan baterai yang hebat, motor dan pengontrol yang hebat.

Kendaraan utilitas perkotaan ini, ditunjukkan pada Gambar 3.19, memiliki jangkauan 120–150 mil, 0–60 mph dalam 7,5 detik dengan kecepatan tertinggi 95

mph. Ini memiliki biaya 30 menit untuk 20–50 mil (semua yang Anda butuhkan di sekitar kota) dan pengisian penuh dalam dua jam. Ini memiliki pengereman regeneratif, baterai lithium-ion, dan semua lonceng dan peluit dari kendaraan mesin pembakaran internal biasa (sistem navigasi dan velg opsional).



Gambar 3.19 Tom Gage (Presiden AC Propulsion),

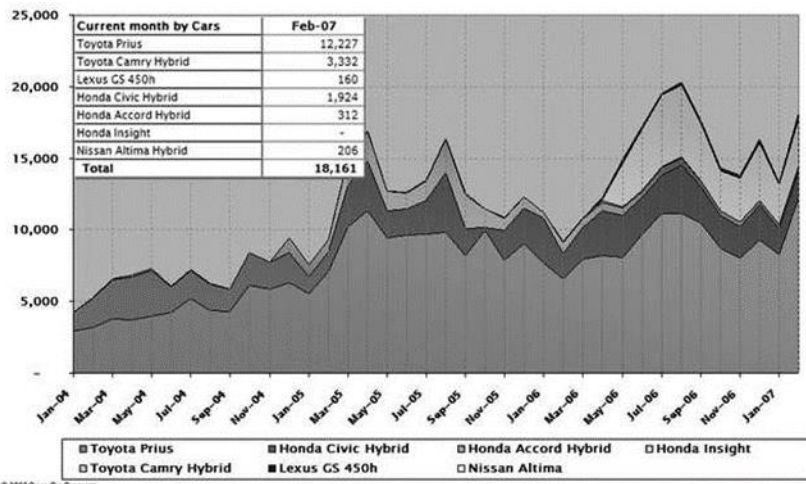
3.3.3 Kendaraan Listrik Hibrida dan *Plug-In*

Saat ini sudah ada kendaraan listrik yang tersedia di hampir setiap titik harga. Jika Anda tidak dapat menemukan cara untuk memasukkan salah satunya ke dalam hidup Anda, Anda dapat membeli HEV baru, seperti Toyota Prius, dengan harga sedikit lebih dari Rp 300.000.000 atau yang bekas mulai dari Rp 150.000.000. HEV bertena gas bukanlah jawaban akhir untuk masalah energi kita, tetapi mereka menyediakan platform yang sangat baik untuk mengembangkan komponen motor listrik seperti motor listrik, baterai, dan transmisi. Mereka juga menggunakan jauh lebih sedikit gas daripada saudara-saudara mereka yang hanya menggunakan mesin pembakaran internal.

Seperti yang Anda lihat pada Gambar 3.20, penjualan hybrid setiap bulan dari Januari 2004 sampai Februari 2007 menunjukkan Prius sebagai pemimpin yang konsisten (lihat Gambar 3.22), diikuti oleh Honda Civic hybrid dan Toyota Camry hybrid. Meskipun Prius adalah yang paling populer, salah satu hibrida yang paling hemat bahan bakar adalah Honda Insight (lihat Gambar 3.21), hibrida kompak kecil.

Tetapi ada lebih banyak kabar baik: ada gelombang motor listrik dan PHEV yang sedang dikembangkan dari perusahaan seperti Phoenix Motorcars, AFS Trinity, dan sejumlah perusahaan lain. Selain itu, Toyota baru-baru ini mengumumkan

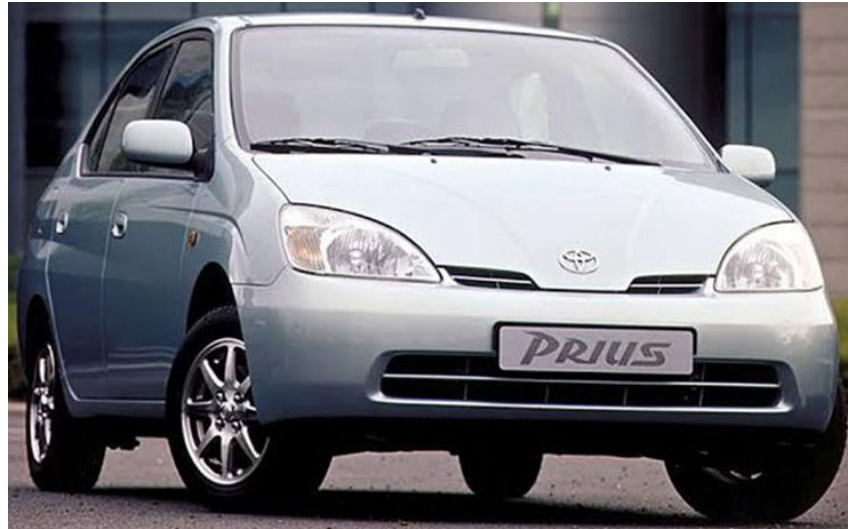
bahwa mereka sedang mengembangkan versi plug-in dari Prius dengan jangkauan listrik yang substansial.



Gambar 3-20 Penjualan mobil listrik hibrida dari tahun 2004 hingga 2007.
(Sumber: Wikipedia.)



Gambar 3-21 Mobil hybrid paling hemat bahan bakar, Honda Insight.
(Sumber: Wikipedia.)



Gambar 3.22 Mobil hybrid terkemuka, Toyota Prius (Sumber: Wikipedia, IFCAR, All Rights Released.)

Banyak orang tidak menunggu sampai standar CAFE mencapai 35 mil per galon pada tahun 2020. Mereka sekarang mengemudikan kendaraan yang lebih baik dari 35 mil per galon. Beberapa mulai mengendarai hibrida plug-in yang mencapai lebih dari 100 mil per galon. Di A.S. 40.000 orang mengendarai kendaraan listrik yang menggunakan nol bensin dan menghasilkan nol emisi.

Namun, bahkan Anda tidak ingin mengubah mobil Anda menjadi listrik — kinerja penuh ke kendaraan listrik kecepatan rendah — jumlah total kendaraan listrik telah meningkat secara signifikan dalam 5 hingga 7 tahun terakhir. Berikut adalah beberapa perusahaan di luar sana.

Miles Electric Vehicles, produsen kendaraan listrik yang berbasis di Los Angeles saat ini memproduksi beberapa kendaraan berkecepatan rendah untuk keperluan militer, universitas, kota, dan pribadi. Perusahaan juga sedang mengembangkan kendaraan listrik XS500, yang ditenagai oleh baterai lithium-ion fosfat. Ini memiliki kecepatan tertinggi 80 mph dan jangkauan 120 mil. Perusahaan mengatakan berencana untuk menguji mobil dan merilisnya sebagai model 2009 dengan peringkat keselamatan uji kecelakaan bintang empat minimum. Harga yang diproyeksikan adalah Rp 450.000.000.

Phoenix Motorcars (www.phoenixmotorcars.com) yang berbasis di Ontario, California, berencana untuk membangun SUV menengah dan SUT (truk utilitas olahraga) dengan jangkauan 130 mil seharga Rp 675.000.000 menggunakan baterai NanoSafe dari Altairnano. Lima ratus mobil direncanakan untuk dikirimkan pada awal 2008 ke pelanggan armada. Sebuah versi konsumen direncanakan untuk

rilis pada akhir 2008. Sebuah versi dengan jangkauan 250+ mil juga dalam pengembangan. Baterai lithium-ion mereka ditingkatkan oleh nanoteknologi yang dapat diisi ulang dalam waktu kurang dari sepuluh menit, berkendara sejauh seratus mil dengan sekali pengisian daya, dan memiliki kecepatan tertinggi 95 mph.

Tesla Motors, perusahaan startup mobil Silicon Valley, meluncurkan Tesla Roadster 185 kW (248 hp) pada 20 Juli 2006. Pada Maret 2008, Tesla telah memulai produksi reguler roadster tersebut. Tesla Model S direncanakan untuk pengiriman 2010. Perkiraan biaya adalah Rp 900.000.000 dengan model Rp 450.000.000 yang direncanakan nanti.

ZAP memproduksi beberapa kendaraan listrik, terutama kendaraan listrik roda tiga Xebra yang tergolong sepeda motor. Kecepatan tertinggi adalah 40 mph dan biaya sekitar Rp 150.000.000. Menurut laporan, itu telah terjual sekitar 200 melalui dealer AS. ZAP-X (www.zapworld.com) adalah *crossover* empat pintu yang direkayasa oleh Lotus dengan banderol harga sekitar Rp 900.000.000. Tidak ada tanggal produksi yang diberikan.

ZENN (www.zenncars.com) memiliki kendaraan kecepatan rendah (LSV) hatchback tiga pintu yang tertutup penuh. Saya bertemu Ian Clifford, Presiden ZENN ketika saya bekerja untuk NYPA pada tahun 2003. Kami berbicara tentang kemungkinan menggunakan kendaraan untuk Program Perjalanan Bersih di NYPA. ZENN sekarang merencanakan peluncuran pada musim gugur 2009. Ini akan menjadi mobil listrik pertama yang menggunakan ultra-kapasitor revolusioner EESstor.

Kendaraan listrik Smith juga memproduksi truk listrik 4,5 dan 7,5 ton. Truk Might-E adalah truk kerja listrik tugas berat. Perusahaan Kanada kendaraan listrik Dynasty memiliki kendaraan listrik lingkungan dengan desain yang mengingatkan pada Volkswagen Beetle.

REVA adalah city car buatan India. REVA dijual di Inggris sebagai G-Wiz serta di beberapa negara Eropa. Di Amerika Serikat, ini diklasifikasikan sebagai NEV atau LSV dan terbatas untuk digunakan sebagai kendaraan listrik lingkungan. CityEl (www.cityel.de) adalah motor listrik roda tiga, diproduksi di Jerman. Lalu ada Modec (www.modec.co.uk) yang berbasis di Inggris dan mereka membangun mobil pengiriman listrik.

Ada banyak perusahaan independen yang menjual mobil listrik. Pasar bebas bahkan menunjukkan bagaimana secara internasional, mobil listrik semakin besar ukurannya. Ada perusahaan lain di luar sana, jadi teliti yang terbaik untuk Anda.

Kendaraan Listrik Berkecepatan Rendah

Orang harus menyadari bahwa kendaraan listrik bukan hanya untuk orang kaya. Kendaraan berkecepatan rendah dihargai antara Rp 120.000.000 dan Rp 150.000.000 dan hanya melaju 25 mil per jam. Ketika saya bekerja untuk Negara Bagian New York, setelah mobil listrik berperforma penuh ditarik kembali, kami menempatkan beberapa ribu kendaraan listrik berkecepatan rendah di negara bagian itu. Saat ini, ada lebih dari 20.000 kendaraan listrik lingkungan (NEV) berkecepatan rendah di jalan hari ini. Meskipun mereka bukan kendaraan di jalan raya (jalan raya), mereka mengurangi emisi kendaraan. Itu berpengaruh. Dari Battery Park City hingga Town Niagara, dari State University of New York di Albany hingga Staten Island Zoo, kendaraan listrik ini sangat bagus untuk aplikasi kota.

Sementara penutup untuk kendaraan tersebut tidak sesuai untuk Timur Laut, banyak kendaraan listrik berkecepatan rendah saat ini memiliki penutup yang seperti pintu. Meskipun mereka hanya diperbolehkan di jalan yang tidak melebihi 35 mil per jam, ada banyak area di negara tempat mereka bekerja dengan baik. Mereka sempurna untuk kampus universitas, fasilitas besar yang membutuhkan kendaraan dalam ruangan tanpa emisi, angkutan di kampus multi-gedung perusahaan, dan bahkan militer. Mobil listrik berkecepatan rendah bisa menjadi mobil kedua yang populer di rumah tangga dengan dua kendaraan. Motor listrik berbiaya rendah ini baik untuk mereka yang akan berkompromi pada kecepatan dan jangkauan. Kendaraan baru dengan harga terjangkau hadir dengan sedikit kompromi dan banyak fitur menarik.

Saat ini, ada juga kendaraan berkecepatan rendah, seperti mobil ZENN, yang lebih mirip mobil sebenarnya untuk banyak aplikasi. Dengan pasar LSV yang terus meningkat, mobil listrik meningkat secara signifikan di seluruh dunia.

3.4 Tren Masa Depan Mobil Listrik

Ada banyak pilihan saat ini untuk mobil listrik. Tesla berharga sekitar Rp 1.500.000.000 untuk Roadster, dan perusahaan mengharapkan untuk meluncurkan kendaraan seharga Rp 450.000.000 dan Rp 900.000.000. Anda dapat memesan eBox dari AC Propulsion seharga Rp 1.095.000.000 terisi penuh. Juga, Vectrix sekarang menjual sepeda motor listrik legal jalan bebas hambatan seharga Rp 165.000.000. Atau, Anda dapat membeli salah satu dari banyak sepeda listrik secara online dengan harga kurang dari Rp 15.000.000 hingga sekitar Rp 30.000.000 untuk sepeda listrik berperforma tinggi.

Sherry Boschert, penulis *Plug-in Hybrids: The Cars That Will Recharge America*, mengendarai sinar matahari. Dia mengisi kendaraan listriknya dengan tenaga surya rumahnya. Toyota RAV4 miliknya berjalan cepat di jalan bebas hambatan

dan sunyi di jalan yang sepi. Dia menggunakan pendekatan nol-emisi untuk transportasi. Mitsubishi memperkenalkan iMiEV Sport, yang rencananya akan diluncurkan di Jepang dan mungkin negara lain pada tahun 2009. Mobil ini memiliki jangkauan 93 mil (150 km) dan kecepatan tertinggi 93 mph (150 km/jam). *General Motor Volt* diharapkan mulai dijual pada November 2010. *General Motor* berencana untuk mulai menjual hibrida plug-in Saturn Vue pada tahun 2009. Dikatakan bahwa kemungkinan akan menawarkan jarak tempuh terbaik dari setiap SUV di pasar.

TH!NK mulai menjual mobil di Eropa dan sekarang telah memulai TH!NK Amerika Utara, dijalankan oleh Vicky Northrup. Saya baru-baru ini meneleponnya untuk mengucapkan selamat kepadanya karena telah memulai kembali di Amerika Serikat. Vicky dan saya telah bekerja sama erat di NYPA/TH!NK *Clean Commute Program™*. TH!NK bahkan telah mengembangkan mobil listrik berperforma penuh, yang hanya dapat meningkatkan peluangnya untuk sukses.

Toyota, Ford, Volvo, dan Saab semuanya memiliki hibrida *plug-in* di jalur armada awal. Armada lain melakukan integrasi kustom mereka sendiri dari *plug-in hybrid* dari sedan hingga kendaraan berat.

Nissan dan Renault berencana untuk memproduksi massal mobil listrik yang awalnya akan dipasarkan untuk kota-kota besar pada tahun 2012. Secara internasional, dari London hingga Shanghai, ada kemungkinan lebih besar bahwa hanya ZEV yang diizinkan di daerah perkotaan besar.

Di depan internasional, Israel telah berkomitmen untuk infrastruktur kendaraan listrik di seluruh negeri. Negara Israel bekerja secara langsung dengan Renault-Nissan, yang akan memproduksi mobil listrik. Mereka juga bekerja sama dengan perusahaan rintisan California yang didirikan oleh mantan eksekutif SAP Shai Agassi yang akan membangun infrastruktur kendaraan listrik. Mereka berharap memiliki lebih dari 500.000 stasiun pengisian daya di seluruh negeri dan hingga 200 lokasi pertukaran baterai. Sementara mereka berencana untuk memulai dengan program percontohan beberapa kendaraan, mereka ingin memasarkannya secara massal pada tahun 2011.

Selain itu, Israel memotong pajak kendaraan listrik sebesar 10% untuk mendorong konsumen membeli mobil listrik. Sementara itu, mereka dapat beralih ke listrik hari ini dan akan memiliki infrastruktur motor listrik di jalan untuk penggunaan umum mereka. Kita harus memuji upaya Negara Israel dan Renault-Nissan untuk bekerja sama menciptakan pasar motor listrik ini.

Kita harus menyadari bahwa teknologi penggerak listrik sudah dan akan terus menjadi bagian dari teknologi otomotif sehari-hari. Semua orang tampaknya membangun kendaraan listrik mereka sendiri. Baik itu *hybrid*, *plug-in-hybrid*, atau kendaraan listrik murni, orang beralih ke listrik setiap hari. Selain itu, semakin banyak orang yang mengubah mobil mereka menjadi listrik. Setiap perusahaan konversi yang saya ajak bicara memiliki simpanan dan lebih banyak bisnis terus berdatangan. Namun, penting untuk memiliki *plug-in-hybrid* dan mobil hybrid. Mereka mentransisikan pasar menuju kendaraan penggerak listrik sepenuhnya. Bahkan jika orang tidak tertarik untuk mengakhiri ketergantungan kita pada minyak asing atau menyelamatkan lingkungan, teknologi penggerak listrik membuat mobil dengan akselerasi dan torsi yang lebih baik yang biaya pengoperasiannya lebih murah daripada mobil bensin biasa saat ini.



Gambar 3-23 Siapa yang Membunuh Mobil Listrik? stiker bumper di xBox.
(Betapa pantasnya!)

BAB IV

KENDARAAN LISTRIK IMPIAN KITA

Anda belajar dari bab-bab sebelumnya bahwa kendaraan listrik menyenangkan untuk dikendarai, menghemat uang saat Anda menggunakannya, dan membantu menyelamatkan planet ini. Manfaat membangun/ mengubah kendaraan listrik Anda sendiri adalah Anda mendapatkan kemampuan ini dengan harga terbaik dengan fleksibilitas terbesar.

Dalam bab ini Anda akan mempelajari tentang trade-off pembelian kendaraan listrik, trade-off konversi, dan biaya konversi. Anda akan mengetahui cara memilih kendaraan listrik terbaik untuk Anda sendiri hari ini, apakah membeli, mengubah, atau membangun.

4.1 Keputusan Membelian Kendaraan Listrik

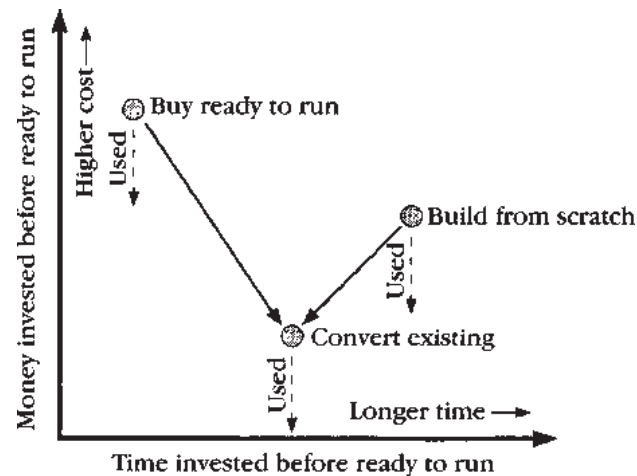
Saat Anda keluar untuk membeli kendaraan listrik hari ini, Anda memiliki tiga pilihan: membeli mobil listrik siap pakai dari produsen mobil besar atau toko konversi kendaraan listrik, atau membeli konversi mobil listrik bekas dari perorangan. Dua pertimbangan paling mendasar Anda adalah berapa banyak uang yang dapat Anda belanjakan dan berapa banyak waktu yang Anda miliki. Dimensi lain dari *trade-off* pembelian Anda adalah di mana (dan dari siapa) Anda dapat memperoleh kendaraan listrik. Bagian ini akan menyajikan pilihan Anda dan menyoroti mengapa konversi adalah pilihan terbaik Anda saat ini.

4.1.1 Hemat Waktu dan Uang

Menyimpan uang adalah tujuan penting bagi kebanyakan orang. Masuk akal juga untuk berasumsi bahwa Anda ingin tiba di kendaraan listrik yang berfungsi dalam waktu yang cukup singkat. Ketika Anda menggabungkan dua pertimbangan ini, konversi muncul sebagai alternatif terbaik. Gambar 4.1 menunjukkan alasannya secara sekilas. Sebuah konversi:

- Biaya lebih sedikit uang daripada membeli siap pakai atau membangun dari awal.
- Membutuhkan waktu lebih sedikit daripada membangun dari awal dan hanya sedikit lebih lama daripada membeli yang siap pakai.

Seperti yang Anda lihat pada Gambar 4.1, membeli barang "bekas" jelas menurunkan biaya untuk kategori tersebut. Namun, ketika Anda membandingkan harga bekas yang setara di ketiga pilihan, konversi masih merupakan alternatif terbaik.



Gambar 4.1 Untuk waktu dan uang yang diinvestasikan, konversi adalah alternatif terbaik daripada membangun atau membeli.

Beberapa angka sebenarnya membuat ini mudah dilihat. Meskipun Anda mungkin menghabiskan lebih dari Rp 1.500.000.000 untuk mendapatkan kendaraan listrik baru dari Tesla dan biasanya dapat menghabiskan dari Rp 300.000.000 hingga Rp 450.000.000 untuk mobil listrik baru di dealer independen, hanya dalam satu atau dua bulan, Anda dapat berkeliling dengan konversi kendaraan listrik Anda sendiri untuk di bawah Rp 150.000.000. Sebaliknya, ketika Anda membangun kendaraan listrik dari awal, komponen listrik Anda sama dengan biaya konversi, tetapi biaya rangka dan bodi Anda dimulai dari saat pembelian bodi konversi dihentikan, dan Anda masih harus melakukan pekerjaan, mendorong waktu Anda. Investasi naik. Sekarang Anda tahu alasan buku ini. Mari kita lihat alternatif *Buy-Build-Convert* lebih dekat, lalu lihat *trade-off who-where-when*.

4.1.2 Siap Membeli dan Jalan

Kendaraan listrik siap pakai tidak tersedia hari ini dari produsen mobil besar mana pun. Bahkan sepuluh tahun yang lalu pembuat mobil besar memiliki motor listrik untuk disewakan dan dijual. Saat ini, sebagian besar pembuat mobil membuat hibrida dan beberapa memiliki kendaraan listrik murni dan kendaraan sel bahan bakar dalam berbagai tahap pengembangan dan pengujian. Ini termasuk *Volt General Motors*, yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Ada beberapa pembuat mobil baru yang sedang mengembangkan motor listrik baru. Ini termasuk Tesla dan banyak NEV baru (kendaraan listrik lingkungan). NEV (juga disebut kendaraan berkecepatan rendah) adalah kelas kendaraan yang ditentukan dalam Peraturan Standar Keselamatan Motor Kendaraan No. 500, yang menetapkan bahwa kendaraan hanya dapat dikendarai di jalan dengan kecepatan 35 mph atau kurang.

Kategori lain dari mobil listrik adalah kendaraan listrik kota (seperti TH!NK). Kecepatan tertinggi kendaraan ini adalah sekitar 55 mph. Itu dapat dikendarai di jalan yang dipasang dari 40 hingga 55 mph di mana NEV tidak bisa pergi. Ini adalah kategori populer di luar negeri di mana bensin sangat mahal. Kami juga menggunakan kendaraan kelas ini di NYPA/TH!NK Clean Commute Program™ karena Ford TH!NK City sangat cocok untuk perjalanan pulang-pergi dalam kota dan semua jalan utama di area ini tidak melebihi 55 mph.

Lalu ada Tesla.



Gambar 4.2 Volt General Motors.

4.1.3 Siap Membeli dari Produsen Bebas

Kendaraan listrik siap pakai tersedia dari pabrikan independen dan dealer mereka hari ini. Tetapi kendaraan listrik ini yang menggunakan sasis mesin pembakaran internal, seperti yang dari Tesla, berharga Rp 600.000.000 hingga Rp 1.500.000.000. Motor listrik akan turun harganya karena jumlah yang diproduksi meningkat — biaya tidak berulangnya kemudian dapat diamortisasi untuk jumlah unit yang lebih besar. Motor Listrik memiliki potensi biaya yang jauh lebih rendah daripada kendaraan bertenaga pembakaran internal di masa depan ketika skala ekonomi dari peningkatan produksi dimulai karena ada jauh lebih sedikit komponen yang masuk ke kendaraan listrik daripada di kendaraan bertenaga pembakaran internal.

4.1.4 Toko (Bengkel) Pengubahan Mobil

Ada sejumlah toko konversi di seluruh negeri. Toko konversi akan mengonversi kendaraan pilihan Anda. Dalam banyak hal, ini merupakan keuntungan karena

Anda mendapatkan kendaraan yang Anda inginkan dikonversi oleh seorang profesional. *Electric Vehicles of America, Inc.* sedang mendirikan jaringan toko konversi di seluruh negeri.

4.1.5 Mengubah Mobil

Banyak orang telah mengubah kendaraan mereka sendiri menjadi listrik. Ini membutuhkan jumlah uang paling sedikit tetapi paling banyak waktu Anda. Konversi biasa dapat memakan waktu 100 jam. Ada sejumlah keuntungan untuk melakukan konversi Anda sendiri. Pertama, Anda memiliki kendali atas proyek (kendaraan yang dikonversi dan komponen yang dipilih); kedua, Anda memiliki kemampuan untuk mendiagnosis, memecahkan masalah, dan memperbaiki masalah apa pun dengan cepat.

Jika keinginan Anda adalah untuk membangun kendaraan listrik dari bawah ke atas, tentu tidak ada yang menghentikan Anda. Tetapi Anda pasti akan menghabiskan lebih banyak waktu dan uang daripada membeli yang siap pakai (kecuali jika Anda memberi nilai nol pada waktu kerja Anda).

Ada juga masalah tersembunyi di sini yaitu aspek keamanan. Jika Anda membeli kendaraan dari pabrikan mana pun atau mengubah sasis kendaraan bertenaga pembakaran internal yang ada, aspek keselamatan telah ditangani untuk Anda. Ketika Anda menggulung desain Anda sendiri, menangani masalah keamanan menjadi tanggung jawab Anda. Meskipun melisensikan "*Starship Electro cruiser*" satu-satunya Anda akan menghabiskan lebih sedikit waktu dengan otoritas Kendaraan Bermotor lokal daripada mendapatkan sertifikasi untuk produksi yang dijalankan dari beberapa agensi, Anda masih harus meyakinkan seseorang bahwa rodanya tidak akan turun sebelum mereka mengizinkan Anda untuk berlayar di mana saja kecuali di jalan masuk Anda.

Membangun rencana seseorang adalah langkah logis untuk menghemat waktu dan kerumitan. Anda masih harus menyediakan tenaga dan uang, tetapi ada seseorang yang telah merintis jalan sebelum Anda dalam hal perizinan dan jalan pintas konstruksi. Selain itu, Anda memiliki seseorang untuk menulis atau menelepon jika Anda terpaku pada detail konstruksi.

Menempatkan kit khusus pada sasis kendaraan bertenaga pembakaran internal yang ada menghemat lebih banyak waktu dan kerumitan pembangunan, tetapi masih membutuhkan investasi tenaga kerja yang ekstensif di pihak Anda dan biaya tambahan yang dikeluarkan sendiri. Keuntungannya adalah Anda tidak hanya memiliki seseorang untuk dihubungi atau menulis untuk meminta bantuan, tetapi instruksi yang lebih baik biasanya membuat bantuan itu tidak terlalu diperlukan.

Suku cadang pra-fab juga sangat membantu memastikan bahwa produk jadi Anda terlihat seperti pekerjaan profesional.

Ada juga masalah tersembunyi dengan kendaraan listrik *custom, plan*, atau *kit-built*; itu terjadi jika Anda memutuskan untuk menjual kreasi Anda. Dengan konversi baru dan buatan sendiri menggunakan kendaraan mesin pembakaran internal bahkan jika cukup radikal di departemen kelistrikan calon pembeli datang untuk melihatnya dan kesan pertama adalah, “Ya, ini Ford” atau “Oke, ini Honda” dan seterusnya. Calon pembeli secara mental membuat katalog merek dan model bodi, lalu melanjutkan. Dengan listrik yang dibuat khusus, Anda mungkin menghadapi banyak pertanyaan tentang bodi, seperti “Seberapa aman?” atau “Apakah bocor banyak saat hujan?” atau “Apakah retakan ini akan menjadi lebih lebar?” Itu bisa terus dan terus.

Membangun kobil listrik dari awal hari ini melibatkan perencanaan menyeluruh apa yang akan Anda lakukan sebelumnya (Apakah Anda akan membuat atau membeli suku cadang, dan dari vendor mana? Kapan suku cadang dibutuhkan? Di mana perakitan akan dilakukan? Subkontraktor mana yang akan membantu?), kemudian mengejar rencana Anda (meninggalkan ruang untuk kemungkinan, masalah, dan tawar-menawar yang datang kepada Anda). Jika Anda dapat mengais, barter, atau mengais suku cadang bekas, itu lebih baik.

4.1.6 Membangun Mobil Listrik sesuai Pesanan

Keuntungan membuat kendaraan listrik secara kustom adalah Anda dapat “pergi ke tempat yang belum pernah dikunjungi orang sebelumnya”. Dalam istilah praktis, ini berarti Anda dapat membuat sesuatu seperti pembalap olahraga kustom Don Moriarty (lihat Gambar 4.3), yang merupakan contoh yang sangat baik dari perhatian cermat terhadap detail desain dan konstruksi yang menghasilkan entri yang menang. Dengan pendekatan yang dibuat khusus, ideal untuk kendaraan balap berkecepatan tinggi atau jarak jauh, Anda bebas untuk membuat desain dan komponen *trade-off* yang mengoptimalkan kendaraan Anda ke arah pilihan Anda. Tetapi pendekatan ini juga mengasumsikan Anda memiliki keterampilan, bakat, sumber daya, dan uang untuk mencapainya.



Gambar 4.3 Kendaraan Listrik Pembalap Olahraga Kustom Don Moriarty.

4.1.7 Rencana Membangun Mobil Listrik

Contoh terbaik membangun dari denah adalah listrik roda tiga Doran (ditunjukkan di depan dan belakang pada Gambar 4.4), yang denahnya biasanya ditawarkan melalui pesanan pos. Dengan manual konstruksi Doran dan rencana Anda mendapatkan instruksi tubuh, mekanik, dan listrik yang sangat baik. Mereka menghasilkan kurang dari 1.500-lb. kendaraan (klasifikasi sepeda motor) yang melaju 80 mph dan memiliki jangkauan sekitar kota 60 mil dari motor DC Prestolite 28-hp yang direkomendasikan dan rangkaian baterai 108-volt (sembilan 12-volt timbal-asam). Tetapi untuk membangun bahkan kendaraan kecil dan sederhana ini membutuhkan penguasaan teknik konstruksi bodi *fiberglass-over-foam-core* atau setidaknya bergegas perlahan saat Anda mempelajarinya dan, sekali lagi, tidak untuk semua orang.



Gambar 4.4 Kendaraan Listrik Roda Tiga.

4.1.8 Kendaraan Listrik Dibangun dari Kit

Contoh terbaik membangun dari kit adalah mobil kit Bradley GT II (lihat Gambar 4.5), di mana ada beberapa versi di sekitarnya. Kombinasi listrik 96 volt pada sasis Volkswagen dengan bodi yang ringan memberikan kinerja yang mengesankan bersama dengan gaya bodi klasik yang manis, tetapi Anda harus berpisah dengan sejumlah besar uang dan tenaga sebelum Anda mewujudkannya. Motor listrik yang dibuat dengan kit dapat menjadi proyek pameran yang sangat bermanfaat dan memuaskan bagi mereka yang memiliki pengalaman, antusiasme, dan ketekunan untuk melakukannya, tetapi (untuk ketiga dan terakhir kalinya) ini bukan untuk semua orang.



Gambar 4.5 Bradley GT II kit mobil kendaraan listrik.

4.1.9 Mengubah Mobil yang Ada

Konversi adalah alternatif terbaik karena biayanya lebih murah daripada membeli yang sudah jadi atau membangun dari awal, hanya membutuhkan sedikit lebih banyak waktu daripada membeli yang sudah jadi, dan secara teknis dapat dijangkau semua orang (tentu dengan bantuan mekanik lokal, dan tentunya dengan bantuan toko konversi mobil listrik).

Konversi juga paling mudah dari sudut pandang tenaga kerja. Anda membeli sasis kendaraan pembakaran internal yang Anda sukai (jenis sasis tertentu lebih mudah dan lebih baik untuk dikonversi daripada yang lain), memasang motor listrik di sasis Anda, dan menyimpan satu bundel. Ini sangat sederhana; Bab 10 mencakup langkah-langkah secara rinci.

Untuk melakukan konversi motor listrik pintar, langkah pertama adalah membeli sasis kendaraan pembakaran internal yang bersih, lurus, bekas. Model bekas juga menguntungkan Anda (seperti yang akan Anda baca di Bab 5) karena bagian yang sudah rusak halus dan kerugian gesekan diminimalkan.

Kendaraan dari Salvage Yard atau kendaraan dengan mesin yang buruk mungkin bukan pilihan terbaik karena Anda tidak tahu apakah transmisi, rem, atau komponen dan sistem lainnya memuaskan. Setelah Anda memilih kendaraan, maka Anda menambahkan suku cadang listrik atau keseluruhan kit dari vendor yang Anda percayai dengan harga terjangkau, dan melakukan sebanyak mungkin pekerjaan sederhana, sambil mengerjakan pekerjaan berat (pemesinan, pembuatan braket, dll.). Apakah Anda melakukan pekerjaan sendiri dan hanya mensubkontrakkan beberapa pekerjaan, atau memilih untuk meminta seseorang menangani seluruh konversi untuk Anda, Anda dapat mengonversi ke kendaraan listrik dengan harga yang sangat menarik dibandingkan dengan membeli mobil listrik baru.

4.1.10 Mengonversi Mobil Mini Bus

Sementara van besar, seperti van GMC yang dikonversi Sacramento Municipal Utility District (SMUD's) (ditunjukkan pada Gambar 4.6), merupakan kendaraan uji coba yang bagus untuk perusahaan utilitas, mereka berat, lebih mahal untuk dibeli, membutuhkan waktu lebih lama untuk dikonversi, memberikan kinerja setelah konversi yang kurang memadai, dan membebani Anda lebih banyak untuk memiliki dan mengoperasikannya. Untuk alasan ini dan lainnya, Anda tidak akan pernah menemukan 8.000-lb. van direkomendasikan dalam buku ini sebagai calon konversi potensial. Di sisi lain, minivan —khususnya model yang lebih baru dan lebih ringan—menawarkan prospek konversi yang menarik, dan Anda dapat melihat lebih jauh ke dalamnya sesuai kebutuhan Anda. Tetapi van pada umumnya, bahkan minivan, biasanya lebih mahal, lebih berat, atau membutuhkan waktu lebih lama untuk diubah daripada gaya sasis lainnya, jadi selidiki sebelum Anda berinvestasi.



Gambar 4.6 Kendaraan listrik van GMC konversi SMUD.

Beberapa Contoh Konversi

Ada satu ton kendaraan yang segera tersedia untuk konversi mobil dan itu akan melipatgandakan halaman dalam buku ini untuk mencakup semuanya. Kami hanya akan melihat (untuk eye candy) pada Rolls Royce listrik, tetapi prinsipnya sederhana: Anda dapat mengubah mobil yang ada menjadi sesuatu yang baru.



Gambar 4.7 Centurion listrik Paul Little dibuat dari Rolls Royce yang lebih tua.

Gambar 4.7 menunjukkan Rolls Royce listrik buatan Paul Little dengan bodi standar (Centurion). Kendaraan ini menggunakan pengontrol 2.000 amp yang menggerakkan kapal ini dengan mudah di sekitar kota atau di jalan terbuka. Ia bahkan menyimpan semua fasilitas seperti power brake, power window, layar video, transmisi otomatis, dan AC. Centurion yang berbasis Rolls Royce ini adalah tugas berat dan mengelola banyak bobot rendah sambil menawarkan tumpangan yang tak tertandingi.

Model berbasis Rolls Royce yang khas mencakup 26 baterai jam 100-amp. Dengan menggunakan bodi Royal Centurion kustom kami (dari tahun 1987 hingga 2001) dengan roda 24", kelonggaran diperoleh untuk baki baterai depan ke belakang yang lengkap. Ini menciptakan pusat gravitasi yang sangat rendah dan distribusi bobot depan ke belakang yang sangat baik.

Kendaraan listrik konversi Datsun 1200 tahun 1971 milik Bill Williams (ditunjukkan di depan dan belakang pada Gambar 4.8) juga merupakan sistem 96 volt, tetapi memanfaatkan ruang sasis yang lebih sedikit untuk menyimpan empat baterai dengan nyaman di area bawah kap depan dan 12 baterai di area bagasi belakang, menjauhkannya dari kompartemen penumpang sepenuhnya. Perhatikan komponen yang ditata dengan rapi dan kabel yang diikat berjalan di kompartemen mesin.

Konversi Paul Little dari Porsche 959 (ditunjukkan pada Gambar 4.9) adalah konversi tercanggih saat ini. Ini menawarkan kinerja dan jangkauan yang menakjubkan. Porsche khas Paul Little mencakup 16-28 baterai tergantung pada jangkauan, berat, dan kecepatan yang diinginkan. Mobil listrik ini memiliki performa yang lumayan, melaju dari 0 hingga 60 dalam waktu sekitar lima detik. Dengan pengontrol 2.000 amp dengan 269 volt, motor warp 11" di gigi keempat dengan rasio 98° dapat mencapai torsi 1.200 ft.



Gambar 4.8 Bill Williams' 1971 Datsun 1200



Gambar 4.9 Kendaraan listrik versi palsu Porsche 959 milik Paul Little.

Plymouth Arrow tahun 1977 Lyle Burresci (Gambar 4.10) adalah dasar untuk manual konversi Mike Brown. Ia juga menggunakan sistem 96 volt (enam baterai di depan, sepuluh di belakang) dan menunjukkan bagaimana pemilihan sasis yang baik, teknik konstruksi, dan "kotak baterai" dapat mengubah potensi bahaya keselamatan. Gambar 4.11 dari Joe Porcelli dan Dave Kimmins dari Operation Z. Ini menunjukkan kompartemen baterai belakang Nissan 280Z mereka. Kami dibahas dan menunjukkan lebih banyak tentang pertobatan mereka di Bab 10.



Gambar 4.10 Kompartemen belakang baris Plymouth Ar 1977 Lyle Burresci.



Gambar 4.11 Joe Porcelli Dan Dave Kimmins Dari Kompartemen Baterai Belakang Nissan 280Z Operation Z.



Gambar 4.12 Versi con S-10 Ken Watkin (Courtesy Bob Batson).

Sampai saat ini, konversi truk pickup belum banyak dilakukan. Tetapi ketika konverter motor listrik melihat lebih dekat pada pickup yang lebih baru dan lebih ringan, tren ini berbalik dengan cara yang gemilang.

Electric Vehicles of America, Inc. adalah salah satu yang pertama mengubah truk pikap kecil seperti S-10 (ditunjukkan pada Gambar 4.12). Desain mereka menempatkan baterai di bawah tempat tidur untuk pusat gravitasi yang lebih rendah dan meninggalkan tempat tidur sepenuhnya gratis untuk perjalanan ke tempat pembuangan sampah atau tempat penyimpanan kayu lokal. Dengan muatan yang lebih besar daripada kebanyakan mobil, truk dapat memiliki jangkauan yang lebih jauh. Truk pikap adalah pilihan konversi mobil listrik yang hebat.

Tabel 4.1 mencakup dimensi lain dari *trade-off-buy*, konversi, atau bangun: kendaraan atau suku cadang apa yang tersedia, dari siapa Anda dapat memperolehnya, di mana lokasinya, dan kapan Anda akan mendapatkan/merakitnya. Tidak banyak tempat untuk membeli mobil listrik baru hari ini. Jika Anda tidak tinggal di tempat dengan akses mudah ke produsen atau dealer kendaraan listrik, menambahkan minggu yang mungkin diperlukan untuk mengirimkan motor listrik baru kepada Anda menempatkan opsi konversi berdasarkan sasis kendaraan pembakaran internal yang diperoleh secara local kearah yang lebih menarik. Minggu-minggu dalam kotak opsi konversi "*When?*" terutama dikonsumsi dengan menemukan (secara lokal) sasis kendaraan yang Anda sukai. Konversi waktu perakitan kemudian diukur dalam jam atau hari. Memulai dengan sasis bekas akan memakan waktu lebih lama untuk pembersihan, persiapan, dan sebagainya. Bulan-bulan yang diperlukan untuk membangun dari awal dihabiskan dengan menemukan kit kendaraan, sasis, dan suku cadang yang Anda sukai dan mengirimkannya kepada Anda. Waktu perakitan mulai dari awal dimulai saat waktu konversi berhenti, dan dapat berkisar hingga ribuan jam, bergantung pada seberapa eksotis yang Anda dapatkan.

Tabel 4.1 Perbandingan Keputusan Pembelian Kendaraan Listrik

	Siapa	Dimana	Kapan
Beli baru	Produsen & Dealer Independen s	Lokasi Regional	Beli – Sekarang Pengiriman – Minggu
Beli Bekas	EAA Rahasia Produsen & Dealer's	Dimana saja	Beli – Sekarang Pengiriman – Minggu

Konversi Baru	Dealer Suku Cadang Kendaraan Listrik Dealer Mobil Baru s	Dealer Mobil Lokal Mail Order EV P seni	Beli – Minggu
Konversi Bekas	Dealer Suku Cadang Kendaraan Listrik Dealer Mobil Bekas	Dealer Mobil Lokal Pesanan Utama EV P seni	Assy – 80-100 Jam s
Bangun Dari Awal	Produsen & Dealer Dealer Suku Cadang Kendaraan Listrik s	Suku Cadang EV Pesanan Bahan Baku Lokal	Beli – Bulan Assy – 200–??? Jam

4.2 Keputusan Konversi Kendaraan Listrik

Saat Anda melakukan konversi kendaraan listrik hari ini, Anda memiliki banyak pilihan sasis: mobil kecil, mobil sport, mobil kompak, crossover, SUV (tidak disarankan), dan truk kecil. Mobil kecil dan mobil sport mungkin memiliki bobot yang lebih ringan, tetapi juga memiliki lebih sedikit ruang untuk baterai dan muatan minimal. Kebanyakan model kendaraan mendapatkan 25-50 lbs. setiap tahun karena produsen menambahkan lebih banyak bahan pembantu atau bahan peredam suara. Mobil dan crossover memiliki keunggulan drag yang kurang aerodinamis, sesuatu yang tidak dimiliki SUV dan truk.

Apa pun kendaraan yang Anda pilih, pilih yang Anda sukai secara pribadi. Mengapa menghabiskan Rp 150.000.000 dan sekitar 100 jam untuk kendaraan yang tidak Anda sukai? Ini adalah kendaraan yang ingin Anda tunjukkan dengan bangga.

Anda memiliki pilihan tambahan dari sistem penggerak AC (arus bolak-balik) atau DC (arus searah). Biasanya, sistem AC memiliki tegangan yang lebih tinggi dan memberikan kinerja yang lebih cepat, tetapi harganya mungkin 2-3 kali lebih mahal daripada sistem DC yang lebih sederhana dan terbukti. Setiap sistem membutuhkan motor, pengontrol, baterai, dan pengisi daya. Bagian ini akan melihat pilihan-pilihan ini dan mempersiapkan Anda untuk panduan yang diberikan oleh sisa buku ini.

Untuk membantu Anda membuat keputusan terbaik, pertama-tama perlu mengidentifikasi kebutuhan Anda. Apakah Anda sedang mencari kendaraan komuter kecil untuk diri sendiri atau Anda membutuhkan kendaraan dalam kota untuk keluarga kecil? Jumlah orang, kinerja, dan jangkauan semuanya merupakan pertimbangan dasar. Biaya sistem penggerak berhubungan langsung dengan kebutuhan Anda. Oleh karena itu, jika Anda memiliki anggaran terbatas, penting untuk membedakan antara "persyaratan" dan "keinginan". Banyak orang menginginkan 0–60 mph dalam empat detik dan jangkauan 150 mil yang tersedia dari kendaraan listrik Tesla, tetapi tidak banyak yang bersedia membayar Rp 1.500.000.000 yang diperlukan.

4.2.1 Perbedaan Chassis Mobil

Jika Anda melanjutkan dengan alternatif konversi, pilihan terpenting Anda adalah sasis yang Anda pilih. Evaluasi kendaraan. Berapa berat trotoarnya? Muatan? Bisakah itu menangani berat dan ruang yang dibutuhkan untuk baterai yang dibutuhkan? Misalnya, Mazda Miata tidak dapat menangani 20 baterai 6 volt yang sering digunakan di truk pickup. Demikian pula, sistem 72 volt yang digunakan di komuter dalam kota (seperti Geo Metro, yang dulu populer dengan *Solectria* ketika mereka membangun *Solectria Force*) akan memiliki kinerja yang sangat biasa-biasa saja dalam truk pickup yang lebih berat dan kurang aerodinamis. Gunakan Internet untuk menemukan berat trotoar dan kapasitas muatan sasis yang Anda pertimbangkan. Lihatlah spesifikasi pabrikan di pintu pengemudi saat melihat kendaraan. Setelah Anda mengidentifikasi beberapa calon kendaraan potensial, buatlah tiruan karton dari baterai yang mungkin Anda gunakan. Kemudian temukan kendaraan dan lihat apakah mereka cocok.

Meminimalkan bobot selalu menjadi tujuan nomor satu dari setiap konversi motor listrik. Ketika ditambahkan ke kriteria meminimalkan waktu konversi dan memaksimalkan peluang untuk mendapatkan hasil yang benar untuk pertama kali, titik tukarnya tepat ke arah truk pikap. Van lebih berat, dan mobil biasanya merupakan konversi yang paling memakan waktu (lebih sedikit ruang untuk memasang opsi motor listrik meningkatkan masalah mendapatkan suku cadang yang pas).

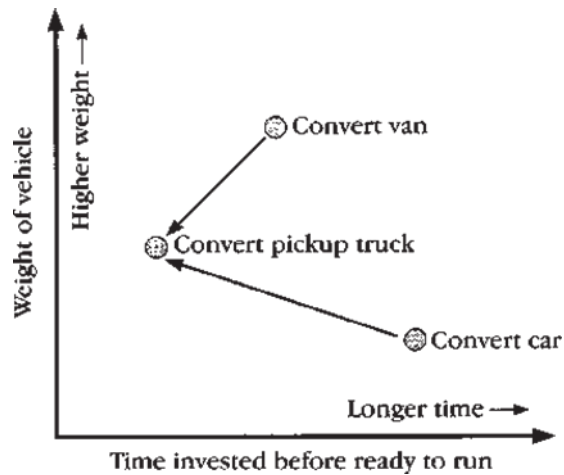
Sasis truk pickup kendaraan pembakaran internal sebenarnya merupakan pilihan konversi kendaraan listrik yang luar biasa karena:

- Berat trotoar truk pickup model kabin tunggal, dikurangi komponen mesin pembakaran internalnya, biasanya tidak lebih dari sebuah mobil, namun memiliki lebih banyak ruang untuk menambahkan baterai ekstra yang menghasilkan kinerja yang lebih baik.
- Sebuah transmisi manual, tanpa embel-embel, truk pickup mesin pembakaran internal 4 atau 6 silinder dulunya adalah salah satu platform konversi baru atau bekas yang paling murah yang bisa Anda beli.
- Berat baterai tambahan tidak menimbulkan masalah untuk struktur pickup. Bingkai kokohnya dirancang khusus untuk membawa beban ekstra dan pegas ekstra atau lebih berat sudah tersedia jika Anda membutuhkannya.
- Pickup mengisolasi baterai dari kompartemen penumpang dengan sangat mudah, kriteria keselamatan penting yang tidak ditemukan di platform konversi mobil atau van.
- Penjemputan jauh lebih lapang. Kompartemen engine dan kotak pickup atau tempat tidur menawarkan fleksibilitas untuk desain dan tata letak komponen

Anda, dan model penggerak roda depan memberi Anda fleksibilitas tambahan untuk pemasangan baterai.

- Pickup model terbaru, kompak, atau menengah menawarkan area depan yang sebanding dengan mobil berukuran setara, namun grill depan dan area engine dapat lebih mudah diblokir atau ditutup untuk mengurangi hambatan angin dan turbulensi kompartemen engine.

Truk pikap dapat dibuat menjadi hibrida instan—cukup memuat generator listrik darurat portabel dan satu atau lebih kaleng gas lima galon ke bagian belakang (Gambar 4.13).



Gambar 4.13 Konversi Truk Pickup Adalah Alternatif Terbaik Di Atas Mobil Atau Van.

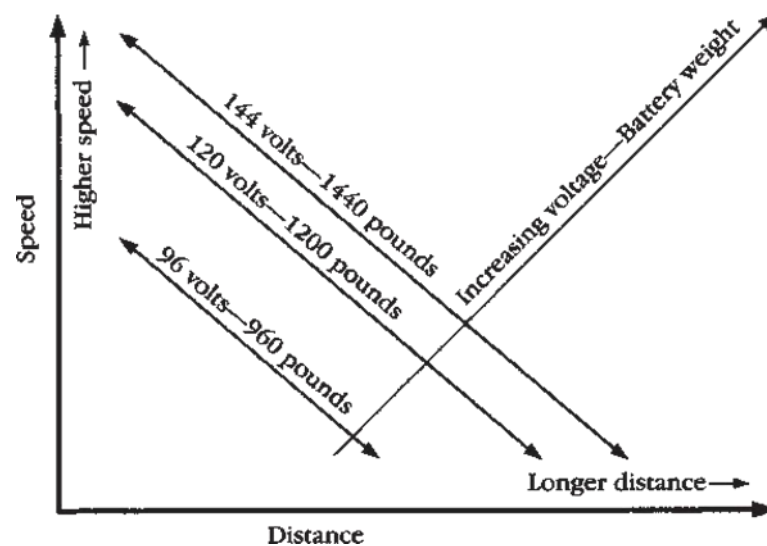
4.2.2 Kekuatan Baterai Membuat Perbedaan

Dari semua keunggulan truk pikap, ruang ekstranya membuat perbedaan terbesar karena membuat lebih banyak ruang tersedia untuk memasang baterai. Dengan konversi mobil, Anda harus memilih sasis yang lebih besar atau menggunakan baterai 8 atau 12 volt. Dengan sasis truk pickup, Anda dapat menggunakan baterai 6 volt yang lebih bertenaga untuk menghasilkan 120 volt atau lebih. Opsi 6 dan 8 volt (penyimpanan energi lebih banyak) dan 12 volt (berat total lebih sedikit) tersedia dengan konversi pickup.

Lebih banyak baterai berarti tegangan lebih tinggi, yang secara dramatis meningkatkan kinerja Anda (lihat Gambar 4.14). Desain mobil listrik antik dari tahun 1970-an menemukan 72 volt dapat diterima. Hari ini, Anda tidak akan senang dengan apa pun yang kurang dari 96 volt, dan 120 volt pengaturan yang digunakan untuk konversi Bab 10, bahkan lebih baik. Di luar itu, pengaturan baterai 144 volt masih lebih baik untuk motor yang dirancang untuk menggunakan tegangan ekstra. Ingat, Anda harus memiliki tegangan yang cukup untuk

mendorong arus yang Anda butuhkan untuk mendapatkan torsi yang Anda butuhkan untuk mencapai kecepatan yang Anda inginkan. Biasanya lebih efisien untuk menjalankan RPM yang lebih tinggi daripada arus yang lebih tinggi untuk mendapatkan daya yang Anda butuhkan. RPM maksimum dan arus maksimum harus dijaga dalam spesifikasi desain motor. Saat baterai habis lebih dari 80 persen adalah saat Anda paling bersyukur atas tegangan ekstra.

Sebuah string baterai 120-volt terdiri dari 20 baterai 6-volt (sekitar 1.200 lbs.) Biasanya memberikan kecepatan tertinggi 60 mph atau lebih dan jangkauan 60 mil (dengan kecepatan berkurang) dalam 3.000-lb. truk pickup trotoar-berat dengan transmisi 4-percepatan. Anda mungkin mendapatkan lebih atau kurang tergantung pada desain dan komponen Anda. Konversi pickup Ford Ranger Jim Harris yang tercakup dalam Bab 10 mencapai 75 mph, dan jangkauannya masih meningkat pada waktu pers. Meningkatkan tegangan akan meningkatkan kecepatan motor maksimum dan itu sama dengan mampu mengemudi lebih cepat. Meningkatkan amp-jam baterai akan memperluas jangkauan. Menambahkan baterai akan menambah tegangan dan berat. Tetapi dimungkinkan untuk meningkatkan tegangan tanpa mengubah berat dengan mengganti ke baterai yang berbeda.



Gambar 4.14 Lebih banyak baterai selalu lebih baik daripada lebih sedikit sampai titik tertentu.

Tabel 4.2 menyajikan semua dimensi pertukaran konversi: sasis, motor, pengontrol, baterai, dan pengisi daya versus alternatif uang OK, ideal, terbaik, dan tidak terbatas. Jika uang bukan masalah, Anda dapat menyesuaikan sasis Anda, menambahkan motor induksi AC terbaru yang kuat dengan pengontrol khusus,

dan alat di sekitar pedesaan yang ditenagai oleh baterai hidrida logam nikel atau polimer lithium yang menarik trailer peningkat daya Anda.

Kita semua harus melakukannya sedikit lebih lambat; pergerakan kami menuju kategori terbaik hanya dapat berjalan secepat yang dimungkinkan oleh dompet kami: sebuah pickup, motor DC seri yang tersedia, pengontrol Curtis PWM, baterai timbal-asam, dan pengisi daya 120 volt, 20-amp *onboard*. Sebenarnya, apa pun dari kolom OK atau ideal dapat diterima. Dan sementara saya jelas berprasangka terhadap pickup, itu tidak berarti Anda harus demikian.

Intinya, gunakan apa yang tersedia. Motor DC, pengontrol Curtis, dan baterai timbal-asam tersedia dalam jumlah besar saat ini dan dengan harga yang wajar. Meskipun tidak canggih, mereka terbukti berfungsi, tersedia dari banyak sumber, dan Anda bisa mendapatkan banyak bantuan jika terjadi kesalahan. Dengan memulai dengan jumlah yang diketahui, peluang keberhasilan dan kepuasan awal Anda sangat tinggi. Anda bisa bangun dan berlari dengan cepat. Saat Anda siap untuk konversi berikutnya, Anda dapat bereksperimen sedikit, “mendorong bagian luar bodi mobil”, dll. Anda tahu apa itu semua, apa yang berhasil, dan di mana Anda ingin membuat perubahan.

4.2.3 Prosedur Pengubahan

Bab 5 hingga 9 memperkenalkan Anda pada sasis, motor, pengontrol, baterai, dan pengisi daya, dan Bab 12 memberi Anda beberapa sumber untuk membantu Anda memulai. Di Bab 10, Anda akan melihat dari balik bahu saya saat saya mengonversi Ford Ranger, mengikuti petunjuk langkah demi langkah yang dapat Anda sesuaikan dengan hampir semua konversi yang Anda inginkan. Bab 11 menunjukkan cara memaksimalkan kenyamanan mobil listrik Anda setelah menyala dan berjalan.

Gunakan sumber Bab 12, jangan hanya mengambil kata-kata saya untuk itu. Bergabunglah dengan EAA dan berlangganan buletin mereka. Baca semua buku, majalah, dan bahan penelitian yang Anda bisa. Ada juga banyak materi yang berguna secara *online* (dengan kata lain, jelajahi internet). Pergi ke rapat, pertunjukan, dan rapat umum. Yang terpenting, berbicaralah dengan orang-orang yang telah melakukan konversi. Jika Anda mendengarkan apa yang mereka katakan, Anda akan segera menemukan bahwa ada lebih banyak pendapat tentang bagaimana melakukan konversi kendaraan listrik daripada kepingan salju di alam semesta yang diketahui. Kemudian integrasikan semua informasi ini dan buat keputusan Anda sendiri. Setelah Anda melakukan konversi pertama, Anda akan melihat fenomena baru, orang-orang akan mulai mendengarkan Anda.

Tabel 4.2 Perbandingan Keputusan Versi Kendaraan Listrik

Apa	Baik	Ideal	Terbaik	Uang yang tidak terbatas
Casis	mobil van	Truk pickup	Mobil	Pengguna Starship Electrocr yang dibuat khusus
Motor	Seri DC 19 hp	DC seri 22 hp	Senyawa DC 30 hp	induksi ac 50 hp
Pengontrol	Curtis MOSFET PWM	Kustom IGBT PWM	Kustom IGBT PWH + Regen	Kustom ac IGBT PWM + Regen
Baterai	96 volt – 16ea 12 volt Lead-Acid	120 volt – 20ea 6 volt Lead-Acid	144 volt – 6 atau 12 volt Lead-Acid	120+ volt – NiCd, NaS, Lithium Polymer
pengisi daya	120 volt, 20 amp	120 volt, 20 amp + Onboard	240 volt, 50 amp + Onboard	240 volt, 50 amp + Trailer penambah daya

4.3 Berapa Biayanya?

Sekarang kita sampai pada bagian di mana, seperti yang mereka katakan, karet bertemu dengan aspal. Mari kita lihat kutipan aktual, lalu tambahkan biaya kendaraan dan baterai dan analisis hasilnya. Meskipun Anda tidak boleh mempertimbangkan biaya ini sebagai kata terakhir, Anda dapat menganggapnya sebagai tipikal untuk upaya konversi motor listrik hari ini. Bagaimanapun, mereka akan memberi Anda ide bagus tentang apa yang diharapkan untuk sistem mobil 144V.

Perhatikan juga bahwa para profesional seperti *Electric Vehicles of America, Inc.* memberi tahu Anda kinerja apa yang dapat Anda harapkan, kapan Anda akan mendapatkannya, berapa biayanya, dan berapa lama harga yang dikutip berlaku. Pastikan Anda mendapatkan informasi yang sama, secara tertulis, dari pemasok mana pun yang Anda pilih. Penting untuk memilih komponen yang akan bekerja sebagai suatu sistem. Jangan berharap untuk membeli komponen acak dari Internet dan kemudian membuatnya berfungsi dengan baik sebagai sebuah sistem. Selain itu, profesional harus tersedia setelah penjualan untuk membantu Anda dengan masalah apa pun. Bob Batson dari *Electric Vehicles of America, Inc.* telah menyatakan bahwa layanan mereka tetap dengan kendaraan yang dikonversi. Jadi, bahkan pemilik kedua, ketiga, atau keempat dari pertobatannya yakin akan layanan profesionalnya.

Tabel 4.3 menambahkan sasis truk pickup dan biaya baterai ke kutipan yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 (kolom Tipikal); menunjukkan penghematan apa yang mungkin Anda harapkan dengan sasis bekas dan yang lebih tua (kolom Ekonomi); dan menunjukkan biaya tambahan yang diharapkan saat menggunakan sasis baru terbaru dan beberapa

lonceng dan peluit tambahan (kolom Tinggi atau khusus). Kolom Tipikal merangkum konversi mobil listrik Ford Ranger Pickup 1987 yang dirinci di Bab 10.

Jumlah yang mungkin Anda peroleh untuk menjual komponen mesin pembakaran internal dihilangkan dari perbandingan; Anda dapat mengharapkan biaya kendaraan menjadi lebih rendah jika Anda menjualnya.

4.4 Mengubah Mobil Listrik untuk Hobby atau Keuntungan?

Darwin Gross menggambar mobil sport dua tempat duduk mobil listrik di atas serbet saat makan siang suatu hari dan berkata, "Anda bisa menjualnya seharga \$4.995." Coretan saya sendiri pada serbet (rangka tabung aluminium, bodi plastik, ban tipis/keras bertekanan tinggi, tanpa power steering, pemanas, bagian atas kain opsional, motor, pengontrol, baterai, dll.) membawa saya ke \$9,995 yang lebih serius. Tapi saya sedang berbicara tentang mobil sport berukuran TR3 yang bisa mencambuk TR3 la Bertone's Blitz—ide yang menggiurkan. Dalam memikirkannya nanti, jika seseorang menerapkan teknik Dr. Paul MacCready dan mengoptimalkan biaya, kendaraan seperti itu tidak hanya hemat energi dan berkinerja tinggi, tetapi juga sangat terjangkau. Anggap saja sebagai "Dampak orang miskin." Dan jika tim bergaya MacCready disatukan untuk mencapainya, Anda akan memiliki model kerja di jalanan dalam waktu sekitar satu tahun. Seseorang akan menghasilkan banyak uang dari ini, atau sesuatu seperti itu. Anda mendengarnya di sini dulu.

Tabel 4.3 Perbandingan Biaya Versi Kendaraan Listrik

Barang	Ekonomi Rp 22.500.000	Biasa Rp 45.000.000	Tinggi Rp 150.000.000	Persentase Pelanggan Dialokasikan 28–31–57
Truk Pickup Chasis	Model sebelumnya digunakan	Model terlambat digunakan	Tahun lalu baru	8–8–4
Plat adaptor motor Kustom	Rp 6.000.000 Lokal atau lakukan sendiri	Rp 12.000.000 Dilakukan secara profesional	Rp 12.000.000 Dilakukan secara profesional	15–16–10
Motor Maju DC 22 hp	Rp 12.000.000 Digunakan	Rp 22.500.000 Baru	Rp 22.500.000 Baru	8–8–4
Pengendali Curtis PWM	Rp 6.000.000 Digunakan	Rp 11.250.000 Baru	Rp 11.250.000 Baru	12–19–14
Pengkabelan & komponen Pengalih, meter, kabel	Rp 9.000.000 Bekas	Rp 27.750.000 Baru	Rp 37.500.000 Baru	23–12–7

Adonan y pack 20ea 6 volt timbal-asam	Rp 18.000.000 Baru	Rp 18.000.00 Baru	Rp 18.000.00 Baru	6-6-4
Pengisi daya 120V, WA, terpasang	Rp 4.500.000 Bekas	Rp 8.250.000 Baru	Rp 12.000.000 Baru	
Total	Rp 78.000.000	Rp 144.750.000	Rp 263.250.000	

4.4.1 Pengujian Motor, Pengontrol, Baterai—Listrik

Kemampuan teknologi saat ini harus cukup untuk memasok arus kontinu maksimum pada kecepatan jalan bebas hambatan hingga tingkat 6 persen di gigi dengan torsi yang cukup untuk tidak melambat. Motor listrik DC 9" FB1-4001 Lanjutan dapat memasok lebih banyak daya daripada 8" 203-06-4001, tetapi tidak pada 96 volt di mana output daya hampir sama dan FB1 berjalan lebih lambat daripada 203. Pada 144 volt Anda dapat mendorong arus untuk mendapatkan lebih banyak torsi dari FB1 yang melampaui peringkat kontinu 203. DC lanjutan juga membuat 8" XP=1227A yang dirancang untuk 240 volt.

Penguji penelitian ini, Russ Lemons tidak akan merekomendasikan penggunaan FB1 dengan tegangan baterai kurang dari 132 volt atau lebih dari 156 volt. Kecepatan motor tidak boleh melebihi 5500 rpm. Russ juga tidak akan merekomendasikan penggunaan 203 dengan tegangan baterai kurang dari 96 volt atau lebih dari 132 volt. Kecepatan motor tidak boleh melebihi 6500 rpm.

Meskipun Kontroler Curtis dapat menangani hingga 500 amp, menjalankan pada arus tinggi tidak baik untuk motor atau baterai dan akan memperpendek umurnya. Lebih baik memperlambat dan menurunkan gigi daripada membuat motor terlalu panas. (Sumber: Russ Lemon)

Kendaraan Listrik Amerika, Inc.
11 Eagle Tra Ce, Po Bo X 2037 Wolfeboro, Nh 03894
(603) 569-2100; Fax (603) 569-2900; Evamerica@Aol.Com

<i>144V</i>	<i>Sistem—Paket Perawatan Menggunakan</i>	<i>Patokan Harga</i>	<i>Total Harga</i>
<i>QTY</i>	<i>Baterai 12v Deskripsi Sistem Drive</i>		
<i>1</i>	FB1-4001A Motor DC Canggih dengan poros ganda 30 hp terus menerus 100 hp puncak	Rp 23.250.000	Rp 23.250.000
<i>1</i>	Curtis 1231C-8601 On-Road EV Controller (96-144V) Batas 500 Amp	Rp 22.425.000	Rp 22.425.000
<i>1</i>	Plat Aluminium / senyawa heat sink / kipas 12V	Rp 750.000	Rp 750.000

1	PB-6 Curtis Potbox	Rp 1.350.000	Rp 1.350.000
2	Kontaktor Albright s SW-200 (12V koil)	Rp 2.250.000	Rp 4.500.000
1	Plat Adaptor dengan Spacer s (2)	Rp 6.000.000	Rp 6.000.000
	Transmisi Manual–Clutchless		
1	Kopling Motor (Aluminium)	Rp 4.875.000	Rp 4.875.000
	Transmisi Manual–Clutchless		
	SISTEM BATERAI		
1	Pengisi Daya Zivan NG3 2800 watt 230V AC masukan 144VDC keluaran	Rp 14.700.000	Rp 14.700.000
24	Penutup Pelindung Terminal Baterai (Merah & Hitam)	Rp 22.500	Rp 540.000
50	2/0 Kabel—25 kaki Hitam, 25 kaki Merah	Rp 48.750	Rp 2.437.500
40	Lugs Magna Tugas Berat Berlapis (36+4)	Rp 37.500	Rp 1.500.000
5	ft Heat Shrink dengan sealant	Rp 90.000	Rp 45.000
	PERALATAN		
1	80–180 Voltmeter Westberg	Rp 975.000	Rp 975.000
1	0–500 Amp Westberg Ammeter	Rp 975.000	Rp 975.000
1	Shunt 50 mV	Rp 45.000	Rp 45.000
	REM DAYA		
1	Pompa Vakum (12V)	Rp 3.375.000	Rp 3.375.000
1	Saklar Vakum	Rp 2.025.000	Rp 2.025.000
1	Fuseholder sebaris	Rp 75.000	Rp 75.000
	KEAMANAN		
1	Sekering kecil L25S-400	Rp 375.000	Rp 825.000
1	Pemegang sekering kecil	Rp 375.000	Rp 375.000
1	Sekering dan dudukan kontrol Littelfuse KKL	Rp 375.000	Rp 300.000
1	Pasangkan konektor Anderson s SBX-350	Rp 960.000	Rp 960.000
1	Fuseholder (4)—Papan Kontrol	Rp 225.000	Rp 225.000
1	Sakelar Inersia Pertama–Pematian Otomatis (12V Sys) dari Sistem Tenaga saat Terjadi Dampak	Rp 675.000	Rp 675.000
	BANTUAN TEKNIS		
A/R	perhitungan EVA		N/C
1	DVD "Safety First" & Video versi S10 Con		N/C

I	Manual Instalasi EVA Termasuk skema, gambar, dll.	N/C
A/R	Bantuan On-Line @ EV America@aol.com 1 tahun Berlangganan EV America	N/C N/C
	SUBTOTAL	Rp 94.012.500
	Kupon Amerika–Paket	-Rp 2.512.500
	TOTAL (Pengiriman—tidak termasuk)	Rp 91.500.000

Komponen Motor Listrik Opsional Untuk Mengganti Atau Tambahan Di Atas Sistem Drive

1	203-064001A Motor DC Canggih dengan poros ganda	Rp 20.250.000	Rp 20.250.000
1	1221C-7401 Pengontrol Cur tis (72– 120V) Batas 400 Amp	Rp 16.125.000	Rp 16.125.000
1	Rakitan Pemasangan Motor (R WD)	Rp 2.700.000	Rp 2.700.000
1	PERALATAN 0–400 Amp Amperemeter Barat	Rp 975.000	Rp 975.000
1	REM DAYA Pengukur Vakum (Pengaturan Awal)	Rp 225.000	Rp 225.000
1	KEAMANAN Konverter Astrodyne DC-DC dengan relai SB-50	Rp 2.625.000	Rp 2.625.000
1	72–132VDC Input 13–14VDC Output Direkomendasikan untuk lampu depan, dll. Konverter Zivan DC-DC	Rp 7.500.000	Rp 7.500.000
1	144VDC Input 14VDC Output Direkomendasikan untuk lampu depan, dll. Pasangkan konektor Anderson s SB-50	Rp 300.000	Rp 300.000
1	Sekering kecil L25S-400–Cadangan	Rp 825.000	Rp 825.000
14	Ft - 1 1/2 inci selang vinil bening	Rp 22.500	Rp 315.000
10	Untuk perlindungan kabel 2/0 Klem Logam Terisolasi untuk Selang V inyl	Rp 15.000	Rp 150.000

BAB V

CHASSIS DAN DESAIN

Motor listrik 20-hp akan dengan mudah mendorong 4.000-lb Anda. kendaraan dengan kecepatan 50 mph. Sasis adalah dasar dari konversi kendaraan listrik Anda. Meskipun Anda mungkin tidak akan pernah membuat sasis sendiri dari awal, ada prinsip dasar sasis yang dapat membantu Anda dengan konversi atau pembelian mobil listrik hal-hal yang tidak pernah muncul saat menggunakan kendaraan bermesin pembakaran dalam—seperti pengaruh bobot, hambatan aerodinamis, tahanan gelinding, dan drivetrain.

Bab ini akan memandu Anda melalui proses pengoptimalan, perancangan, dan pembelian kendaraan listrik Anda sendiri. Anda akan terbiasa dengan pertukaran sasis yang terlibat dalam mengoptimalkan konversi mobil listrik Anda. Kemudian Anda akan merancang konversi mobil listrik Anda untuk memastikan komponen yang Anda pilih mencapai apa yang ingin Anda lakukan. Ketika Anda telah mengetahui apa yang penting bagi Anda dan memverifikasi bahwa desain Anda akan melakukan apa yang Anda inginkan, Anda akan melihat proses pembelian sasis Anda.

Pengetahuan tentang semua langkah ini akan segera membantu Anda (saat membaca tentang konversi truk pickup Bab 10), dan akhirnya (saat memilih sasis motor listrik terbaik untuk Anda sendiri). Prinsipnya bersifat universal, dan Anda dapat menerapkannya baik membeli, membangun, atau mengubah.

5.1 Memilih Chassis Terbaik untuk Mobil Listrik

Sasis yang Anda pilih adalah fondasi untuk mobil listrik Anda dan pilihlah dengan bijak. Itulah pesan dari bab ini secara singkat. Karena Anda cenderung mengonversi daripada membangun dari awal, tidak banyak yang dapat Anda lakukan setelah Anda membuat pilihan sasis. Rahasiannya adalah bertanya pada diri sendiri pertanyaan yang tepat dan jelaskan apa yang ingin Anda capai sebelum Anda membuat pilihan.

Seperti pembalap derby kotak sabun anak muda, Anda menginginkan sasis dengan bentuk aerodinamis dan roda tipis, sehingga Anda bisa memberikan dorongan dan itu berjalan hampir selamanya. Namun rangkanya juga harus cukup besar dan cukup kuat untuk membawa Anda dan penumpang beserta motor, drivetrain/controller, dan baterai. Selain itu, jika Anda ingin mengendarainya di jalan raya, undang-undang federal dan negara bagian mengharuskannya untuk layak jalan dan mematuhi standar keselamatan tertentu.

Langkah pertama adalah mengetahui pilihan Anda. Motor listrik Anda harus seringan mungkin; ramping, dengan bodi yang dioptimalkan untuk drag minimum; dioptimalkan untuk hambatan gelinding minimum dari ban, rem, dan kemudinya; dan dioptimalkan untuk kerugian drivetrain minimum. Kombinasi motor-drivetrain-baterai harus sesuai dengan gaya bodi yang Anda pilih. Itu juga harus mampu menyelesaikan tugas yang paling penting bagi Anda: kecepatan tinggi, jarak jauh, atau kendaraan komuter utilitas di tengah-tengah keduanya.

Jadi langkah kedua adalah merancang kemampuan yang Anda inginkan. Bobot mobil listrik Anda, penempatan motor dan baterai, aerodinamis, rolling resistance, penanganan, persneling, dan fitur keselamatan juga harus memenuhi kebutuhan Anda. Anda sekarang punya rencana.

Langkah ketiga adalah menjalankan rencana Anda, membeli sasis yang memenuhi kebutuhan Anda. Pada intinya, ini adalah proses yang tidak ada bedanya dengan pembelian kendaraan lain yang pernah Anda lakukan, kecuali bahwa solusi terbaik untuk kebutuhan Anda mungkin adalah kendaraan yang pemilik atau dealernya tidak sabar untuk membuangnya salah satu dengan bahan bakar. Lalu mesin yang boros, diesel, atau yang berpolusi, jadi situasinya benar-benar berubah dari situasi pembelian yang normal.

Bekas biasanya yang paling murah, tetapi jangan mencari sesuatu yang terlalu bekas. Anda ingin merasa yakin tentang mengubah kendaraan yang Anda pilih sebelum Anda meninggalkan tempat parkir. Jika terlalu kecil atau sempit untuk memuat semua bagian listrik, apalagi baterai, Anda tahu Anda punya masalah. Atau jika sangat kotor, berminyak, atau berkarat, Anda perlu berpikir dua kali.

5.2 Cara Mengoptimalkan Mobil Listrik

Mengoptimalkan selalu merupakan langkah nomor satu. Bahkan jika Anda pergi keluar untuk membeli kendaraan listrik Anda yang sudah jadi, Anda masih ingin tahu pekerjaan apa yang telah dilakukan sehingga Anda dapat memutuskan apakah Anda mendapatkan model terbaik untuk Anda. Dalam semua kasus lain, Anda akan melakukan pengoptimalan—baik dengan pilihan yang Anda buat di depan dalam pemilihan sasis atau dengan keputusan pengoptimalan sadar Anda nanti.

Di bagian ini, Anda akan berusaha meminimalkan faktor resistensi berikut:

- Berat dan pendakian dan akselerasi
- Tarik dan angin aerodinamis
- Ketahanan menggelinding dan menikung
- Sistem drivetrain

Anda akan melihat persamaan yang mendefinisikan masing-masing faktor ini, dan membuat tabel nilai riil yang dinormalisasi untuk 1.000 pon. Kendaraan dan sembilan kecepatan kendaraan tertentu. Nilai-nilai ini harus berguna terlepas dari apa yang Anda lakukan nanti cukup kalikan dengan rasio bobot Mobil listrik Anda sendiri dan gunakan secara langsung, atau interpolasi di antara nilai kecepatan.

Anda akan segera melihat sejumlah nilai yang dipasang kembali di bagian desain bab ini, ketika persyaratan torsi kendaraan yang sebenarnya dihitung untuk melihat apakah torsi yang tersedia dari motor listrik dan drivetrain yang dipilih sesuai dengan tugasnya. Proses desain ini dapat disesuaikan dan diterapkan tanpa batas ke motor listrik apa pun yang Anda miliki.

5.3 Aturan-Aturan dan Rumus

Buku ini menggunakan konvensi otomotif AS tentang mil, mil per jam, kaki per detik, pound, pound-feet, dll., daripada kilometer, newton-meter, dll., yang umum digunakan di luar negeri. Setiap formula yang dipinjam dari buku pegangan Bosch telah dikonversi ke unit A.S. Berbicara tentang rumus, Anda akan menemukan 13 hal berikut ini berguna; mereka telah dikelompokkan dalam satu bagian untuk kenyamanan Anda:

$$\text{Daya (ft-lb/dtk)} = \text{Torsi (ft-lb)} \times \text{Kecepatan (radian/dtk)} \quad \text{5 Gaya dalam kaki per detik (FV)}$$

$$1 \text{ Horsepower (hp)} = 550 \text{ ft-lb/sec}$$

Menerapkan ini ke persamaan 1 memberi Anda:

$$\text{Tenaga kuda (hp)} = \text{FV}/550$$

Dimana V adalah kecepatan yang dinyatakan dalam kaki/detik.

$$88 \text{ kaki/dtk} = 60 \text{ mph}$$

Kalikan kaki/detik dengan $(60 \times 60)/5280$ untuk mendapatkan mph.

$$\text{Tenaga kuda (hp)} = \text{FV}/375$$

Dimana V adalah kecepatan yang dinyatakan dalam mph dan F dalam pound.

$$\text{Horsepower (hp)} = (\text{Torsi} \times \text{RPM})/5252 = 2\pi/60 \times \text{FV}/550$$

$$\text{Roda RPM} = (\text{mph} \times \text{Revolusi/mil})/60$$

$$\text{Daya (kW)} = 0,7457 \times \text{hp}$$

$$\text{Konstanta gravitasi standar (g)} = 32,16 \text{ ft/sec}^2 \text{ atau hampir } 22 \text{ mph/sec}$$

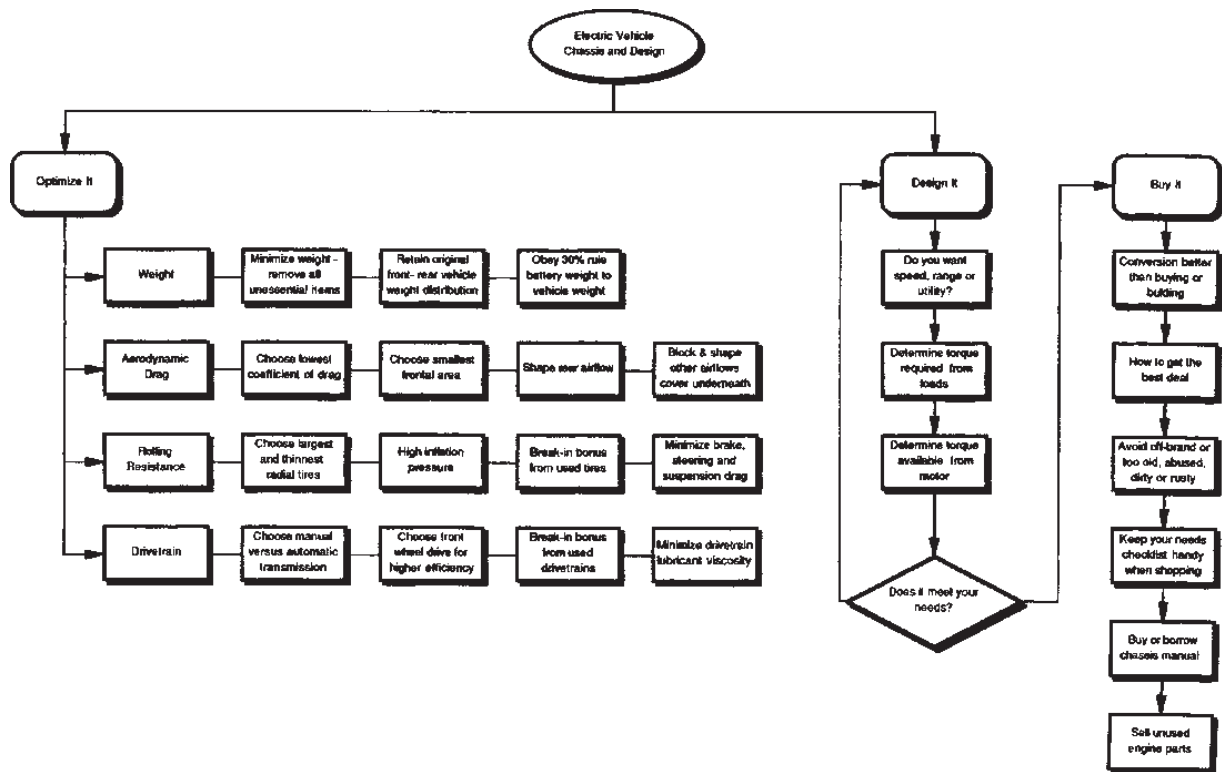
Berat (W) 5 Massa (M) 3 g/32,16 Untuk buku ini, kita akan mengacu pada massa kendaraan sebagai "beratnya".

$$\text{Torsi} = (\text{F}(5280/2\pi))/(\text{Revolusi/mil}) = 840,34 \times \text{F} / (\text{putaran/mil})$$

Revolutions/mile mengacu pada berapa kali ban berputar per mil.

$$\text{Torquewheel} = \text{Torquemotor} \times (\text{rasio gigi keseluruhan} \times \text{efisiensi drivetrain keseluruhan})$$

$$\text{Kecepatankendaraan (dalam mph)} = (\text{RPMmotor} \times 60) / (\text{rasio gigi keseluruhan} \times \text{putaran/mil})$$



Gambar 5.1 Pentingnya Meminimalkan Bobot Di Mobil Listrik

5.4 Mobil Listrik Saya Tidak Berat

Dalam *real estate* mereka mengatakan tiga hal yang paling penting adalah lokasi, lokasi, dan lokasi. Dalam konversi kendaraan listrik tiga hal terpenting adalah bobot, bobot, dan bobot. Di bagian ini, Anda akan melihat lebih dekat pada item di baris Bobot pada Gambar 5.1 dan pentingnya meminimalkan bobot di mobil listrik Anda.

5.4.1 Kurangi Berat dengan Mengambil yang Tidak Penting

Anda tidak ingin membawa banyak beban yang tidak perlu. Namun, kecuali Anda memulai dengan desain *build-from-scratch*, Anda mewarisi hasil akhir dari pertukaran bobot orang lain. Ini berarti Anda harus hati-hati memeriksa segala sesuatu yang berkaitan dengan bobot versus nilainya pada tiga waktu yang berbeda.

Sebelum Anda Membeli Kendaraan Konversi

Pikirkan tentang potensi pengurangan berat kendaraan sebelum Anda membelinya. Apakah akan mudah (pickup) atau sulit (van) untuk mengeluarkan beban ekstra? Bagaimana dengan item agenda tersembunyi? Apakah kecelakaan sebelumnya mengakibatkan spatbor penuh pada pembelian prospektif Anda? (Bawalah magnet selama pengujian Anda.) Apakah konstruksinya memudahkan

pemindahan berat atau penggantian bagian yang lebih ringan nanti? Pikirkan tentang faktor-faktor ini saat Anda melihat.

Selama Konversi

Saat Anda melepas bagian mesin pembakaran internal, kemungkinan Anda akan menemukan bagian tambahan yang belum pernah Anda lihat atau pikirkan untuk dikeluarkan sebelumnya. Bagian-bagian yang menempel pada firewall atau dipasang rendah pada spatbor terkadang hampir tidak terlihat di kompartemen mesin yang penuh sesak dan/atau kotor. Singkirkan semua berat badan yang tidak perlu, tetapi lakukan latihan logika dan akal sehat dalam pencarian pengurangan berat badan Anda. Mengganti bagian tubuh kosmetik yang lebih ringan adalah ide bagus; lubang pengeboran di anggota rangka struktural penahan beban tidak.

Setelah Konversi

Hancurkan kebiasaan buruk kendaraan mesin pembakaran internal Anda. Buang semua barang ekstra yang mungkin terus Anda bawa, termasuk ban serep dan peralatan.

Setelah semua pekerjaan Anda, beri tepukan pada diri Anda. Anda mungkin telah menurunkan berat badan dari 400 menjadi 800 lbs. atau lebih dari sasis kendaraan mesin pembakaran internal yang baru dibersihkan yang akan segera menjadi mesin motor listrik yang ramping dan kejam. Alasan semua pekerjaan Anda sederhana bobot memengaruhi setiap aspek kinerja motor listrik: akselerasi, pendakian, kecepatan, dan jangkauan.

5.4.2 Sebelum Membeli Mobil Listrik

Mari kita lihat bagaimana berat mempengaruhi akselerasi. Ketika Sir Isaac Newton dipukul kepalanya dengan sebuah apel, dia diduga merenungkan salah satu hubungan dasar alam—Hukum Kedua: $F = Ma$; atau gaya (F) sama dengan massa (M) kali percepatan (a). Untuk tujuan Motor Listrik, itu dapat ditulis ulang sebagai

$$Fa = Ci.Wa$$

Dimana Fa adalah gaya percepatan dalam pound, W adalah massa kendaraan dalam pound, a adalah percepatan dalam mph/sekon, dan Ci adalah faktor konversi satuan yang juga memperhitungkan inersia tambahan dari bagian-bagian kendaraan yang berputar. Gaya yang dibutuhkan untuk menjalankan kendaraan bervariasi secara langsung dengan berat kendaraan; dua kali berat berarti dua kali lebih banyak kekuatan yang dibutuhkan.

C_i , faktor massa yang mewakili inersia dari massa berputar kendaraan (roda, *drivetrain*, *flywheel*, kopling, armature motor, dan bagian berputar lainnya), diberikan oleh

$$C_i = 1 + 0.04 + 0.0025(N_c)^2$$

Dimana N_c mewakili rasio gabungan dari transmisi dan *final drive*. Faktor massa tergantung pada roda gigi di mana Anda beroperasi. Untuk kendaraan bermesin pembakaran dalam, faktor massa biasanya: gigi tinggi = 1.1; gigi x 5 1.2; gigi 2 = 1.5; dan gigi 1 5 2.4. Untuk motor listrik, di mana sebagian dari *drivetrain* dan bobot biasanya dilepas atau diringankan, biasanya 1,06 hingga 1,2.

Tabel 5.1 menunjukkan gaya percepatan F_a , untuk tiga nilai C_i yang berbeda, untuk sepuluh nilai percepatan a yang berbeda, dan untuk berat kendaraan 1.000 lbs. Faktor a adalah percepatan yang dinyatakan dalam ft/sec^2 , bukan dalam $mph/sekon = 21,95 = 32,2 \cdot 3 (3600/5280)$, hanya digunakan dalam rumus (karena percepatan yang dinyatakan dalam $mph/sekon$ adalah angka yang jauh lebih mudah dan familiar bekerja dengan). Perhatikan bahwa percepatan 10 mph/s , jumlah yang membawa Anda dari nol sampai 60 mph dalam 6 detik nominal membutuhkan kekuatan ekstra 500 lbs.; 5 mph/s , bergerak dari nol sampai 50 mph dalam 10 detik, membutuhkan 250 pon.

Tabel 5.1 Gaya Percepatan, F_a (dalam pound), untuk Nilai C_i yang Berbeda

a (in mph/sec)	$a' = a/21.95$	F_a (in pounds) $C_i = 1.06$	F_a (in pounds) $C_i = 1.1$	F_a (in pounds) $C_i = 1.2$
1	0.046	48.3	50.1	54.7
2	0.091	96.6	100.2	109.3
3	0.137	144.8	150.3	164.0
4	0.182	193.1	200.4	218.6
5	0.228	241.4	250.5	273.3
6	0.273	289.7	300.6	328.0
7	0.319	338.0	350.7	382.6
8	0.364	386.3	400.8	437.3
9	0.410	434.5	450.9	491.9
10	0.455	482.8	501.0	546.6

Untuk menggunakan Tabel 5.1 dengan Motor listrik Anda, kalikan dengan rasio berat kendaraan Anda dan gunakan kolom C_i 5 1.06 untuk kendaraan yang lebih ringan dan kolom C_i 5 1.2 untuk yang lebih berat. Misalnya, 3.800-lb. Truk pikap Ford Ranger Bab 10 akan membutuhkan 5 mph/dtk 5 3,8 3 273,3 = 1038,5 lbs.

5.4.3 Berat dan Kecepatan Mobil Listrik

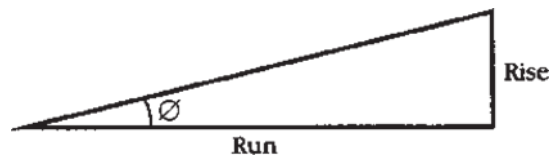
Saat Anda mendaki bukit, Anda menambahkan kekuatan lain:

$$F_h = W \sin \phi$$

Dimana F_h adalah gaya mendaki bukit, W adalah berat kendaraan dalam pound, dan adalah sudut kemiringan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2. Derajat tanjakan “bukit atau tanjakan biasa disebut” berbeda dari sudut tanjakan, tetapi Gambar 5.2 akan menjernihkan kebingungan Anda. Perhatikan bahwa sin bervariasi dari 0 tanpa kemiringan (tidak berpengaruh) hingga 1 pada 90 derajat; dengan kata lain, berat penuh kendaraan mencoba menariknya kembali ke bidang miring. Sekali lagi, beban terlibat langsung, kali ini dipengaruhi oleh kecuraman bukit.

$$\text{Derajat kemiringan} = 1\% = \frac{1 \text{ kaki}}{100 \text{ kaki}} = \frac{\text{bangkit}}{\text{lari}}$$

Sudut kemiringan, $\phi = \frac{\text{bangkit}}{\text{lari}} = \text{Busur tan } 0,01 = \text{sekitar } 0 \text{ derajat } 34 \text{ menit}$



Gambar 5.2 Sudut kemiringan ditentukan.

Tabel 5.2 Gaya Mendaki Bukit F_h untuk 15 Nilai Kemiringan yang Berbeda

Degree of Incline	Incline angle θ	$\sin \theta$	F_h (In pounds)	a (In mph/sec)
1%	0° 34'	0.00989	9.9	
2%	1° 9'	0.02007	20.1	
3%	1° 43'	0.02996	29.6	
4%	2° 17'	0.04013	40.1	
5%	2° 52'	0.05001	50.0	1
6%	3° 26'	0.05989	59.9	
8%	4° 34'	0.07062	79.6	
10%	5° 43'	0.09961	99.6	2
15%	8° 32'	0.14838	148.4	3
20%	11° 19'	0.19623	196.2	4
25%	14° 2'	0.24249	242.5	5
30%	16° 42'	0.28736	287.4	6
35%	19° 17'	0.33024	330.2	
40%	21° 48'	0.37137	371.4	
45%	24° 14'	0.41045	410.5	

Tabel 5.2 menunjukkan gaya mendaki bukit F_h , untuk 15 nilai kemiringan yang berbeda untuk berat kendaraan 1.000 lbs. Perhatikan bahwa gaya traksi yang diperlukan untuk percepatan 1 mph/s sama dengan yang dibutuhkan untuk

mendaki bukit dengan kemiringan 5 persen, 2 mph/s untuk kemiringan 10 persen, dll., pada kemiringan 30 persen. Hubungan yang berguna ini akan digunakan nanti di bagian desain.

Untuk menggunakan Tabel 5.2 dengan motor listrik Anda, kalikan dengan rasio berat kendaraan Anda. Misalnya, 3.800 lb. Truk pikap Ford Ranger Bab 10 naik 10 persen kemiringan akan membutuhkan $3,8 \times 99,6 = 378,5$ lbs.

5.4.4 Berat Mempengaruhi Kecepatan

Meskipun kecepatan juga melibatkan faktor lain, itu pasti terkait dengan berat badan. Horsepower dan torsi berhubungan dengan kecepatan per persamaan 3:

$$hp = FV/550$$

Dimana hp adalah tenaga kuda motor, F adalah gaya dalam pound, dan V adalah kecepatan dalam ft/s . Berbekal informasi ini, persamaan Hukum Kedua Newton dapat disusun kembali sebagai:

$$a = (1/M) \times F$$

dan karena $M = W/g$ (10) dan $F = (550 \times hp)/V$, mereka dapat diganti untuk menghasilkan

$$a = 550(g/V)(hp/W)$$

Akhirnya, a dan V dapat dipertukarkan menjadi

$$V = 550(g/a)(hp/W)$$

Dimana V adalah kecepatan kendaraan dalam ft/sec , W adalah berat kendaraan dalam pound, g adalah konstanta gravitasi $32,2 ft/sec^2$, dan faktor-faktor lain yang telah Anda temui. Untuk setiap percepatan tertentu, saat berat naik, kecepatan turun karena berbanding terbalik.

5.4.5 Berat Mempengaruhi Rentang

Jarak hanyalah kecepatan dikalikan dengan waktu:

$$D = Vt; \text{ karena itu } D = 550(g/a)(hp/W)t$$

Jadi berat lagi memasuki gambar. Untuk jumlah energi tetap yang Anda bawa ke dalam kendaraan, Anda akan melangkah lebih jauh jika Anda membutuhkan waktu lebih lama (berkendara dengan kecepatan lebih lambat) atau membawa lebih sedikit beban. Anda telah menemukan hasil praktis dari *trade-off* ini pada Gambar 4.14 dari Bab 4.

Selain tugas utama menghilangkan semua bobot yang tidak perlu, ada dua faktor penting terkait bobot yang perlu diingat saat melakukan konversi motor listrik: distribusi bobot depan-ke-belakang, dan aturan 30 persen.

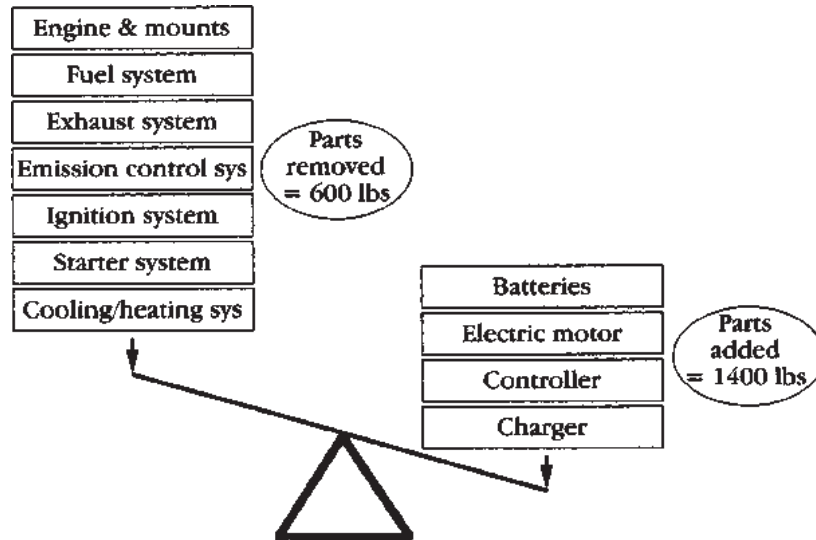
5.4.6 Kurangi Berat dan Pertahankan Keseimbangan

Selalu fokus untuk menjaga distribusi bobot depan-ke-belakang kendaraan Anda tetap utuh dan tidak melebihi sasis total dan spesifikasi pemuatan bobot gandar depan/belakang.

Gambar 5.3 menunjukkan besarnya masalah Anda untuk truk pickup Ford Ranger yang serupa dengan yang digunakan dalam konversi Bab 10. Anda telah menarik keluar 600 lbs. pada mesin, bahan bakar, knalpot, emisi, starter pengapian, dan sistem pemanas/pendingin. Tapi Anda akan menempatkan 1.400 lbs. kembali, termasuk 1.200 lbs. baterai (20 sekitar 60 lbs. masing-masing). Bagaimana kamu menangannya?

Tabel 5.3 memberikan jawabannya. Perhatikan baris pertama menunjukkan 3.000 lb. berat trotoar biasanya didistribusikan 60° depan (1.800 lbs.) Dan 40° belakang (1.200 lbs.) dengan 1.200 lb. kapasitas muatan. Baris kedua menunjukkan bahwa sebagian besar beban yang Anda keluarkan berasal dari dalam dan di sekitar ruang mesin 600 lbs.

Anda menghapus mengambil 500 lbs. dari as roda depan dan 100 lbs. lepas dari poros belakang. Rahasiannya adalah mengembalikan berat badan dengan cara yang cukup seimbang. Hal ini dicapai dengan memasang empat baterai —sekitar 240 lbs— di depan di kompartemen mesin bersama dengan motor, pengontrol, dan pengisi daya. Ini menempatkan sekitar 400 lbs. di depan dan sekitar 1.000 lbs. senilai baterai di bagian belakang. Baris kelima menunjukkan hasilnya. Anda mencapai berat trotoar 3.800 lbs. dengan 1.700 lb sampai 2.100 lb. Distribusi bobot depan-ke-belakang, tetapi Anda masih berada di dalam GVWR, GAWR depan/belakang, distribusi bobot, dan spesifikasi muatan. Selain itu, ketika Anda keluar dan mengendarai kendaraan, ia menunjukkan kemampuan kemudi, pengereman, dan penanganan yang sama seperti sebelum konversi.



Gambar 5.3 Perimbangan Distribusi Bobot Depan-Ke-Belakang.

Tabel 5.3 Kendaraan Listrik Versi Con Bobot Dibandingkan

Barang	Berat trotoar (lbs)	Berat gandar depan (lbs)	Berat gandar belakang (lbs)	Berat muatan (lbs)
Pickup Ford Ranger sebelum konversi	3000	1800	1200	1200
Lebih sedikit mesin IC dan bagian sistem	<600>	<500>	<100>	
Subtotal sebelum konversi	2400	1300	1100	
Ditambah baterai kendaraan listrik, motor, dll.	1400	400	1000	
Pickup Ford Ranger setelah konversi	3800	1700	2100	400
Berat baterai 20ea 6-volt @60 lbs	1200			
Rasio berat baterai y terhadap berat kendaraan	32%			

Selama Anda tetap dalam spesifikasi pemuatan dan distribusi bobot mesin pembakaran internal asli kendaraan Anda, suspensi dan sistem pendukung lainnya tidak akan pernah menyadari bahwa Anda telah mengubah apa yang ada di balik kap mesin. Membebani sasis mobil listrik Anda tidak lebih masuk akal daripada

membebani sasis kendaraan mesin pembakaran internal Anda. Solusi terbaik dan teraman adalah mendapatkan sasis tugas berat atau lebih besar lainnya. Catatan tambahan: Beberapa pemilik sebenarnya lebih memilih untuk menyesuaikan guncangan dan pegas kendaraan konversi mereka pada saat ini untuk memberikan pengendalian yang sedikit lebih kencang, atau (dalam kasus pemilik truk pickup) untuk mengembalikannya ke pengendalian yang lebih kencang sebelumnya.

5.4.7 Ingat Aturan 30%

Aturan praktis "30% atau lebih besar" (berat baterai harus setidaknya 30% dari berat kotor kendaraan saat menggunakan baterai timbal-asam) adalah target yang sangat berguna untuk dibidik dalam konversi motor listrik. Anda akan ingin melakukan yang lebih baik lagi jika Anda mengoptimalkan sasaran kinerja kecepatan tinggi atau jangka panjang. Tabel 5.3 menunjukkan bahwa berat baterai adalah 32% dari berat kotor kendaraan untuk konversi ini. Perhatikan bahwa jika Anda memilih sistem baterai 144 volt (menambahkan empat baterai lagi dan bobot tambahan 240 lbs.), rasionya naik menjadi 1440/4040 atau 36%. Sebaliknya (mengeluarkan empat baterai dan 240 lbs.), rasio turun menjadi 960/3560 atau 30% untuk sistem 96 volt. Mengeluarkan empat baterai lagi dan menggunakan sistem 72 volt, rasionya turun menjadi 720/3320 atau 22%. Aturan praktis terbukti benar dalam kasus ini, karena Anda tidak akan senang dengan kinerja sistem 72 volt di kendaraan ini; bahkan 96 volt adalah marjinal.

5.5 Pikirkan Mobil Listrik yang Ramping

Sampai baru-baru ini, sebagian besar desain baji depan industri otomotif, meskipun menarik, sebenarnya 180° dari perampingan aerodinamis. Lihatlah contoh terbaik dan paling umum di alam, rintik hujan yang jatuh: bulat dan bulat di depan, meruncing ke titik dibelakangnya, bentuk aerodinamis yang optimal. Selain itu, helm balap sepeda baru sangat sesuai dengan prinsip ini.

Sementara pesawat terbang, kapal selam, dan kereta peluru selama beberapa dekade memasukkan contoh rintik hujan ke dalam desain mereka, toko desain pembuat mobil telah menghindari ide ini karena tidak menarik selera publik. Dengan banyak tenaga kuda mesin pembakaran internal yang mereka miliki, mereka tidak membutuhkan aerodinamis, mereka membutuhkan gaya. Karena baterai hanya memberikan daya 1° per berat seperti bensin, Anda dan motor listrik Anda memang membutuhkan kesadaran aerodinamis.

Di bagian ini, Anda akan melihat baris Seret Aerodinamis pada Gambar 5.1 dan mempelajari tentang faktor-faktor yang menyertai rumput saat Anda memilih kendaraan konversi, dan item yang dapat Anda ubah untuk membantu konversi mobil listrik lolos dari udara lebih efisien.

5.5.1 Menetapkan Gaya Tarik Aerodinamis

Mike Kimbell, seorang konsultan mobil listrik, mengatakan yang terbaik: "Di bawah 30 mph Anda dapat memasang motor listrik di atas batu bata dan tidak pernah melihat perbedaannya." Alasannya sederhana: gaya drag aerodinamis bervariasi dengan kuadrat kecepatan. Jika Anda tidak bergerak, tidak ada hambatan sama sekali. Setelah Anda menggulungnya, itu menumpuk dengan cepat dan segera membanjiri semua faktor lainnya. Mari kita lihat bagaimana tepatnya.

Gaya hambat aerodinamis dapat dinyatakan sebagai:

$$F_d = (C_d A V^2) / 391$$

Dimana F_d adalah gaya hambat aerodinamis dalam lbs., C_d adalah koefisien hambatan kendaraan Anda, A adalah luas frontalnya dalam kaki persegi, dan V adalah kecepatan kendaraan dalam mph. Untuk meminimalkan hambatan untuk kecepatan tertentu, Anda harus meminimalkan C_d , koefisien hambatan, dan A , area frontalnya.

5.5.2 Pilih Koefisien Tarik Terendah

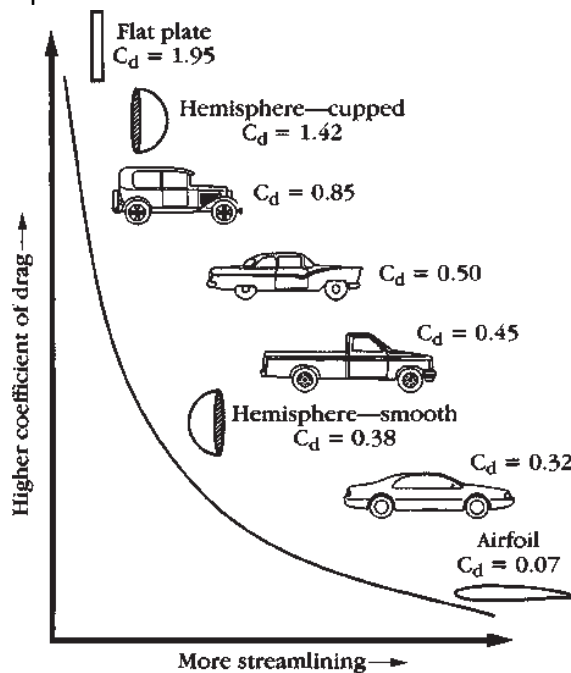
Koefisien hambatan, C_d , berkaitan dengan perampingan dan aliran turbulensi udara di sekitar kendaraan Anda, karakteristik yang melekat pada bentuk dan desain kendaraan konversi yang Anda pilih. C_d tidak mudah terpengaruh atau diubah nanti, jadi jika Anda mengoptimalkan sasaran kinerja kecepatan tinggi atau jangka panjang, penting bagi Anda untuk selalu mengingat faktor kinerja penting ini saat memilih kendaraan konversi. Gambar 5.4 menunjukkan nilai C_d untuk berbagai bentuk dan jenis kendaraan. Perhatikan bahwa C_d telah menurun secara signifikan seiring berjalannya waktu—sedan Ford tahun 1920-an memiliki C_d sekitar 0,85; Ford Taurus hari ini memiliki C_d 0,32.

Nilai C_d untuk mobil, truk, dan van akhir 1980-an adalah:

- Mobil = 0,30 hingga 0,35
- Van = 0,33 hingga 0,35
- Truk pikap = 0,42 hingga 0,46

Sementara nilai C_d mobil biasanya menurun dari 0,5 pada 1950-an, menjadi 0,42 pada 1970-an, menjadi 0,32 hari ini, jangan disesatkan. *Roadster* kokpit terbuka kontemporer yang manis itu masih dapat memiliki C_d 0,6. Itu karena C_d ada hubungannya dengan turbulensi udara yang disebabkan oleh jendela yang terbuka, kokpit, dan area kotak pickup, bukan dengan perampingan saja.

Tabel 5.4 menunjukkan bagaimana area yang berbeda “dalam hal ini diambil untuk mobil antik tahun 1970-an” berkontribusi pada C_d sebuah kendaraan. Bertentangan dengan apa yang mungkin Anda pikirkan, area belakang bodi menyumbang lebih dari 33% C_d dengan sendirinya, diikuti oleh lubang roda sebesar 21%, area bawah bodi mobil sebesar 14%, area bodi depan sebesar 12%, proyeksi (minor, drip rel, ceruk jendela) sebesar 7%, dan kompartemen mesin dan gesekan kulit masing-masing sebesar 6%. Itulah mengapa kendaraan listrik *Impact* *General Motors* yang sangat dioptimalkan adalah 0,19, memiliki bagian belakang yang dipahat halus, lubang roda yang dipahat atau tertutup dengan ban tipis, bagian bawah bodi mobil tertutup, hidung rendah dengan kaca depan yang sangat miring dan *ground clearance* yang rendah, tidak ada proyeksi, dan hanya dua bukaan kecil ke kompartemen mesin.



Gambar 5.4 Koefisien Ringkasan Drag Untuk Jenis Kendaraan Yang Berbeda.

Tabel 5.4 Kontribusi Area Mobil Yang Berbeda Terhadap C_d Keseluruhan Untuk Mobil Vintage Tahun 1970-An

Area Mobil	Nilai C_d	Persentase dari total
Tubuh–Belakang	0.14	33.3
sumur roda	0.09	21.4
Tubuh–Bawah	0.06	14.3
Tubuh–Depan	0.05	11.9
Proyeksi dan lekukan	0.03	7.1
Kompartemen mesin	0.025	6.0
Gesekan Tubuh-Kulit	0.025	6.0
Total	0.42	100.0

5.5.3 Pilih Area Frontal Terkecil

Area depan (A) untuk mobil, truk, dan van model akhir yang khas berada dalam kisaran 18 hingga 24 kaki persegi. Lembaran kayu lapis berukuran 4 kaki kali 8 kaki yang diangkat secara vertikal di depan kendaraan Anda akan memiliki luas bagian depan 32 kaki persegi. Ini berkaitan dengan area efektif yang diberikan kendaraan Anda ke aliran udara yang mengalir deras. Area frontal juga tidak mudah terpengaruh atau diubah nantinya, dan tidak banyak yang dapat Anda lakukan untuk meminimalkannya secara signifikan kecuali memilih tipe bodi kendaraan yang berbeda. Jika Anda mengoptimalkan kinerja kecepatan tinggi atau jarak jauh, ingatlah faktor kinerja penting ini saat memilih kendaraan konversi Anda.

5.5.4 Kontribusi Angin pada Gaya Tarik Aerodinamis

Gaya seret diukur secara nominal pada 60 derajat Fahrenheit dan tekanan barometrik 30 inci air raksa di udara diam. Biasanya, itu adalah asumsi yang memadai untuk sebagian besar perhitungan. Tetapi sangat sedikit lokasi yang masih memiliki udara, jadi komponen drag tambahan karena kecepatan angin relatif harus ditambahkan ke perhitungan gaya *drag aerodinamis* Anda. Ini adalah hambatan angin tambahan yang mendorong kendaraan dari angin lokal yang acak. Persamaan yang mendefinisikan faktor angin relatif, C_w , adalah

$$C_w = (0.98(w/V)^2 + 0.63(w/V_0)C_{rw} - 0.40(w/V))$$

Dimana w adalah kecepatan angin rata-rata daerah tersebut dalam mph, V adalah kecepatan kendaraan, dan C_w adalah koefisien angin relatif yang kira-kira 1,4 untuk bentuk sedan biasa, 1,2 untuk kendaraan yang lebih ramping, dan 1,6 untuk kendaraan yang menampilkan lebih banyak turbulensi atau sedan didorong dengan jendela terbuka.

Tabel 5.5 menunjukkan C_w yang dihitung untuk tujuh kecepatan kendaraan yang berbeda dengan asumsi nilai rata-rata Amerika Serikat sebesar 7,5 mph untuk kecepatan angin rata-rata untuk tiga nilai C_w yang berbeda.

Untuk mendapatkan total gaya hambat aerodinamis (masih ditambah angin relatif), gunakan rumus berikut:

$$F_{td} = F_d + C_w F_d \text{ atau } F_d (1+C_w)$$

Tabel 5.5 Faktor Angin Relatif C_w Pada Kecepatan Kendaraan Berbeda Untuk Tiga Nilai C_{rw}

Rata-rata C_{rw}	Faktor C_w	Faktor C_w	Faktor C_w	Faktor C_w	Faktor C_w	Faktor C_w	Faktor C_w
wind= 7.5 mph	at V= 5 mph	at V= 10 mph	at V= 20 mph	at V= 30 mph	at V= 45 mph	at V= 60 mph	at V= 75 mph
1.2	3.180	0.929	0.299	0.163	0.159	0.063	0.047
1.4 a vg sedan	3.810	1.133	0.374	0.206	0.185	0.082	0.062
1.6	4.440	1.338	0.449	0.250	0.212	0.101	0.076

5.5.5 Data Gaya Seret Aerodinamis yang Dapat Anda Gunakan

Tabel 5.6 menempatkan nilai C_d dan A untuk kendaraan aktual bersama-sama dan menghitung gaya hambatnya untuk tujuh kecepatan kendaraan yang berbeda. Perhatikan bahwa gaya drag paling rendah pada mobil kecil dan paling besar pada pickup kecil, tetapi mobil kecil mungkin tidak memiliki ruang untuk memasang baterai untuk memberikan kinerja yang Anda butuhkan. Perhatikan juga bahwa roadster kokpit terbuka, meskipun memiliki area depan kecil A , memiliki gaya hambat yang identik dengan truk pikap.

Untuk menggunakan Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 dengan mobil listrik Anda, pilih jenis kendaraan Anda di Tabel 5.6, kemudian kalikan nomor gaya hambatnya dengan faktor angin relatif pada kecepatan kendaraan yang sama menggunakan baris C_{rw} yang sesuai untuk kendaraan Anda Tipe. Misalnya, 3.800 lb. Truk pikap Ford Ranger Bab 10 memiliki gaya hambat 24,86 lbs. pada 30 mph menggunakan Tabel 5.6. Mengalikan dengan faktor angin relatif 0,250 dari baris bawah (C_{rw} 5 1,6) dari Tabel 5.5 menghasilkan 6,22 pound. Total drag aerodinamis Anda yang dipaksakan adalah 24,86 + 6,22 atau 31,08 pound.

5.5.6 Bentuk Aliran Udara Belakang

Jika Anda pernah melihat film uji terowongan angin dengan asap yang ditambahkan untuk membuat arus udara terlihat, Anda telah melihat pusaran atau

area turbulensi di bagian belakang sebagian besar kendaraan yang diuji. Mereka yang tidak memiliki akses ke terowongan angin merasakan efek yang sama ketika truk semitrailer melewati Anda di jalan raya.

Seperti bentuk rintik hujan yang jatuh, ekor perahu atau bentuk hidung kapal roket adalah yang paling ideal. Meskipun hal ini sulit dicapai, dan tidak ada desain sasis produksi yang tersedia untuk membantu, Anda dapat memanfaatkan pembulatan sudut belakang kendaraan Anda dan menghilangkan semua tepi tajam. Seperti yang Anda lihat pada Tabel 5.4, bagian belakang bodi dengan sendirinya membentuk sekitar 33° dari C_d , jadi setiap perubahan yang dapat Anda lakukan di sini harus membayar dividen yang besar.

Dalam domain praktis dari contoh truk pickup kami, mengenakan cangkang kemping yang ringan dan ramping (tepi membulat) harus menjadi pilihan pertama Anda. Bentuk station wagon sebenarnya memiliki angka C_d yang lebih baik daripada bentuk sedan fastback (meskipun perbedaan berat meniadakan keuntungan). Sebuah truk pickup dengan cangkang kemping ramping sangat dekat dengan bentuk station wagon. Pilihan selanjutnya adalah meletakkan penutup di atas kotak pickup. Jika hal ini tidak memungkinkan, biarkan bak truk di bawah dan gunakan jaring kargo atau kawat kasa, atau cukup lepaskan bak truk jika hal ini tidak menimbulkan masalah fungsional.

Tabel 5.6 Gaya Seret Aerodinamis F_d pada Kecepatan Kendaraan Berbeda untuk Kendaraan Khas nilai C_d dan A V

Kendaraan	C_d	A	$V=5\text{mph}$	$V=10\text{mph}$	$V=20\text{mph}$	$V=30\text{mph}$	$V=45\text{mph}$	$V=60\text{mph}$	$V=75\text{mph}$
Mobil kecil	0.3	18	0.35	1.38	5.52	12.43	27.97	49.72	77.69
Mobil yang lebih besar	0.32	22	0.45	1.80	7.20	16.20	36.46	64.82	101.28
mobil van	0.34	26	0.57	2.26	9.04	20.35	45.78	81.39	127.17
Pickup kecil	0.45	24	0.69	2.76	11.05	24.86	55.93	99.44	155.37
Roadster	0.6	18	0.69	2.76	11.05	24.86	55.93	99.44	155.37

5.5.7 Bentuk Setir yang baik dan Aliran Udara Di bawah Bodi

Selanjutnya kita perhatikan roda dan area sumur roda. Tabel 5.4 menunjukkan bahwa area sumur ban dan roda dengan sendirinya menyumbang sekitar 21° dari C_d , sehingga perubahan perampingan kecil di sini dapat memiliki manfaat besar. Menggunakan penutup roda yang halus, ban yang lebih tipis, penutup roda belakang yang baik, tidak ada penutup lumpur, atau bahkan menurunkan ketinggian kendaraan, semuanya dianggap sebagai langkah langsung yang

bermanfaat. Setiap sedikit membantu; apa pun yang dapat Anda lakukan untuk mengurangi hambatan atau turbulensi adalah baik.

Area jelas berikutnya adalah di bawah kendaraan. Tabel 5.4 menunjukkan ini menyumbang sekitar 14° dari C_d Anda. Desainer mobil secara tradisional mengabaikan area ini karena publik tidak melihatnya. Tapi udara yang mengalir deras melakukannya. Jadi desainer Motor Listrik *Impact General Motors* yang dibangun dari awal tidak mengabaikan area ini.

Solusi langsungnya sederhana: tutup bagian bawah kompartemen mesin. Tidak ada lagi komponen mesin pembakaran internal yang besar di kompartemen mesin, jadi tutupi seluruh area terbuka dengan lembaran bahan yang ringan. Anda mungkin masih memiliki transmisi dan pasti memiliki kemudi/suspense komponen yang harus ditangani, jadi mungkin diperlukan beberapa lembar material. Bahan apa pun yang Anda gunakan, Anda tidak ingin bahan yang terlalu tipis untuk bodi ketika udara yang deras menerpanya, jadi pilihlah ketebalan yang menghilangkan kemungkinan ini dan kencangkan lembaran (atau lembaran) dengan aman ke sasis.

Buat area dari belakang bagian bawah hidung kendaraan Anda hingga di bawah area *firewall* (atau tepat di luarnya) sehalus mungkin, dengan menggunakan bahan yang seringan mungkin. Jika Anda bisa pergi jauh ke belakang kendaraan Anda, itu lebih baik. Bagian bawah yang sepenuhnya ramping mengurangi hambatan dan turbulensi, dan hanya dapat membantu Anda.

5.5.8 Bentuk Aliran Udara Depan

Seperti yang Anda lihat di Tabel 5.4, gabungan bodi depan dan kompartemen mesin terdiri dari sekitar 18° dari C_d Anda. Meskipun Anda tidak dapat membuat perubahan signifikan pada nilai C_d dan A yang Anda warisi saat membeli sasis konversi, Anda dapat mengganti atau menutupi kisi-kisi masuk udara depan yang bersudut tajam dan menghalangi aliran udara ke kompartemen mesin. Sebuah mobil listrik tidak memerlukan asupan udara besar yang diperlukan dalam kendaraan pembakaran internal untuk mengalirkan udara pendingin ke radiator dan kompartemen mesin. Saluran berdiameter 3 inci yang mengarahkan udara ke motor listrik Anda sangat memadai. Jadi, apa pun yang dapat Anda lakukan untuk membulatkan atau merampingkan area hidung kendaraan Anda (bentuk Ford Taurus atau *Thunderbird* yang mulus dari tahun 1990-an sebagai lawan dari bentuk kisi-kisi yang bersinar dan tajam pada tahun 1980-an dan sebelumnya) adalah permainan yang adil. Apa yang Anda inginkan adalah efek ramping maksimum dengan berat minimum, jadi gunakan plastik kit mobil modern dan bahan dan teknik komposit hidung pengisi bodi otomatis, jika Anda mau.

Udara yang masuk ke kompartemen mesin konversi mobil listrik Anda yang sekarang agak kosong memiliki efek negatif menciptakan turbulensi di bawah kap, sehingga menghalangi aliran udara yang masuk dengan selembur bahan ringan (seperti aluminium) yang ditempatkan di belakang panggangan bekerja dengan sangat baik. Bahan apa pun yang Anda pilih, pastikan bahannya cukup berat dan diikat dengan cukup kuat agar tidak tertekuk, kusut, atau bergetar saat terkena udara. Ingatlah untuk meninggalkan lubang kecil untuk saluran udara pendingin motor listrik Anda.

5.6 Berputar dengan Jalan

Seperti yang mereka katakan di film *Days of Thunder*, "Ban adalah yang memenangkan perlombaan." Ban saat ini gemuk, memiliki tapak lebar, dan tidak memiliki karakteristik tahanan gelinding yang rendah; mereka telah dioptimalkan untuk adhesi yang baik sebagai gantinya. Sebagai pemilik kendaraan listrik, Anda harus melawan arus pemikiran ban saat ini dan belajar berguling dengan jalan untuk memenangkan perlombaan performa.

Di bagian ini, Anda akan melihat baris Rolling Resistance pada Gambar 5.1 dan mempelajari cara memaksimalkan manfaat dari empat (atau tiga) patch kontak ban-jalan yang tidak lebih besar dari tangan Anda.

5.6.1 Definisi Hambatan Putaran

Gaya tahanan gelinding didefinisikan sebagai

$$F_r = C_r W \cos \theta$$

Dimana C_r adalah faktor tahanan gelinding, W adalah berat kendaraan Anda dalam lbs., dan θ adalah sudut kemiringan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2. Perhatikan bahwa \cos bervariasi dari 1 tanpa kemiringan (efek maksimum) hingga 0 pada 90° (tanpa efek). Sekali lagi, bobot kendaraan merupakan faktor, kali ini dimodulasi oleh gesekan ban kendaraan. Faktor tahanan gelinding C_r mungkin pada tingkat yang paling dasar diperkirakan sebagai suatu konstanta. Untuk tipikal di bawah 5.000 lb.

- 0,015 pada permukaan keras (beton)
- 0,08 pada permukaan keras
- 0,30 pada permukaan lunak (pasir)

Jika perhitungan Anda membutuhkan lebih banyak akurasi, C_r bervariasi secara linier pada kecepatan yang lebih rendah dan dapat diwakili oleh

$$C_r = 0.012 (1+V/100)$$

Dimana V adalah kecepatan kendaraan dalam mph.

5.6.2 Beri Perhatian Pada Ban

Ban penting bagi pemilik Mobil listrik. Mereka menopang berat kendaraan dan baterai sambil menahan guncangan; mengembangkan gaya depan-ke-belakang untuk akselerasi dan pengereman; dan mengembangkan kekuatan sisi ke sisi untuk menikung.

Ban hampir secara universal berkonstruksi *radial-ply* saat ini. Biasanya, satu atau lebih lapisan bersabuk baja mengelilingi lingkaran (karenanya, radial) ban. Ini memberikan kinerja yang jauh lebih unggul dari tipe *bias-ply* (beberapa lapisan yang dianyam melintang di sekitar karkas ban, karenanya, bias atau miring) dari tahun-tahun sebelumnya yang digantikan oleh radial sebagai standar pada 1960-an. Ban dicirikan oleh lebar peleknya, ukuran pelek roda yang sesuai, lebar bagian (lebar maksimum di tonjolan ban), tinggi bagian (jarak dari manik ke tepi luar tapak), rasio aspek (rasio tinggi ke lebar), diameter dan beban keseluruhan, dan tekanan ban maksimum. Selain itu, *Tire and Rim Association* mendefinisikan konvensi penamaan ban standar:

- Ukuran Ban Bias 5,60 × 15 (Khusus VW)—5,60 menunjukkan lebar bagian dalam inci dan 15 menunjukkan ukuran pelek dalam inci.
- 155R13 (Khas Honda Civic) Ukuran Ban Radial—155 menunjukkan lebar bagian dalam milimeter dan 13 menunjukkan ukuran pelek dalam inci.
- P185/75R14 (Khusus Ford Ranger Pickup)—Ukuran ban radial metrik. P menunjukkan mobil penumpang, 185 menunjukkan lebar bagian dalam milimeter; 75 menunjukkan rasio aspek; R menunjukkan radial; B berikat, atau bias D; dan 14 menunjukkan ukuran pelek dalam inci.

Meskipun Goodyear telah mengambil peran kepemimpinan dengan ban GFE (Greater Fuel Efficiency) mereka, Firestone memiliki seri Concept EVT mereka, dan pembuat ban lainnya juga mengembangkan desain yang ideal untuk motor listrik. Melakukan konversi hari ini berarti menggunakan apa yang sudah tersedia. Tabel 5.7 memberikan perbandingan karakteristik yang dipublikasikan untuk keluarga ban Goodyear Decathlon. Ini adalah kelas ekonomi radial semua cuaca (pembuat ban lain memiliki keluarga serupa) yang seharusnya lebih dari cukup untuk sebagian besar kebutuhan pemilik mobil listrik. (Catatan: Ban dengan rolling resistance rendah juga merupakan pilihan yang sangat baik.)

Semua yang ada di Tabel 5.7 berasal dari lembar spesifikasi yang diterbitkan Goodyear kecuali kolom *Revolutions Per Mile*, yang merupakan nilai nominal yang

dihitung langsung dari kolom Diameter Keseluruhan daripada menggunakan data terukur yang sebenarnya. Nilai yang dihitung sedikit lebih rendah dari nilai yang diukur saat baru dan, saat tapak aus, Anda melihat perbedaan 0,4 hingga 0,8 inci lebih sedikit pada diameter ban, yang diterjemahkan menjadi lebih banyak putaran per mil. Perbedaannya mungkin 30 putaran dari 900 — perbedaan 3° — tetapi jika angka ini penting untuk perhitungan Anda, ukur lingkaran ban Anda yang sebenarnya di jalan masuk Anda. Tanda kapur di dinding samping dan pita pengukur dan satu putaran penuh ban Anda adalah semua yang perlu Anda ketahui jika Anda berada di stadion baseball.

Tabel 5.7 Perbandingan Keluarga Ban Decathlon Goodyear
Semua dimensi dalam inci.

Ukuran ban	Lebar pelek roda	Lebar pelek ban	Lebar bagian	Lebar tapak	Diameter keseluruhan	Revolusi per mil	Beban maksimum (lbs)
P155/80R13	4.5-5.5	4.5	6.18	3.8	22.76	886	959
P165/80R13	4.5-6.0	4.5	6.5	4.2	23.39	862	1069
P175/80R13	4.5-6.0	5.0	6.97	4.1	24.02	840	1179
P185/80R13	5.0-6.5	5.0	7.24	4.4	24.65	818	1301
P185/75R14	5.0-6.5	5.0	7.24	4.6	24.96	808	1290
P195/75R14	5.0-7.0	5.5	7.72	4.9	25.51	791	1400
P205/75R14	5.5-7.55.5	7.99	5.1	26.14	772	1532	
P205/75R15	5.5-7.55.5	7.99	5.0	27.13	743	1598	
P215/75R15	5.5-7.56.0	8.5	5.3	27.68	729	1742	
P225/75R15	6.0-8.06.0	8.79	5.4	28.31	712	1874	
P235/75R15	6.0-8.06.5	9.25	5.8	28.86	699	2028	

Idealnya, Anda menginginkan derby kotak sabun atau setidaknya ban sepeda motor di mobil listrik Anda: tipis (area kontak kecil dengan jalan), keras (sedikit gesekan), dan diameter besar (lebih sedikit putaran per mil, dan dengan demikian jarak tempuh lebih tinggi, keausan lebih lama). Dari studi teknik tentang karakteristik rolling loss ban karet padat, kita mendapatkan persamaan berikut:

$$F_t = C_t(W/d)(t_h/t_w)1/2$$

Dimana F_t adalah gaya tahanan gelinding, C_t adalah konstanta yang mencerminkan karakteristik elastisitas dan kehilangan bahan ban, W adalah berat ban, d adalah diameter luar ban, dan t_h dan t_w adalah tinggi dan lebar bagian ban, masing-masing. Ini adalah yang terakhir Anda akan melihat atau mendengar persamaan ini di buku ini, tetapi intinya adalah, gaya tahanan gelinding dipengaruhi oleh material (lebih sulit lebih baik untuk pemilik mobil listrik), pemuatan (lebih sedikit bobot lebih baik), ukuran (lebih besar lebih baik), dan rasio aspek (rasio t_h/t_w yang lebih rendah lebih baik).

Variabel-variabel dalam persamaan tahanan gelinding ban yang lebih konvensional biasanya tekanan inflasi ban (resistensi menurun dengan meningkatnya tekanan inflasi-lebih keras lebih baik), kecepatan kendaraan (meningkat dengan meningkatnya kecepatan), pemanasan ban (lebih hangat lebih baik), dan beban (berat kurang adalah lebih baik).

5.6.3 Gunakan Ban Radial

Ban radial hampir universal saat ini, jadi konstruksi ban tidak lagi menjadi faktor. Tetapi Anda mungkin membeli sasis yang lebih tua yang tidak memiliki radial di atasnya, jadi periksa untuk memastikan karena ban *bias-ply* atau *bias-belted* memberikan kinerja yang jauh lebih rendah daripada radial dalam hal *rolling resistance versus* kecepatan, pemanasan, dan inflasi.

5.6.4 Gunakan Ban Betekan Tinggi

Meskipun Anda tidak ingin menggembungkan dan menggembungkan ban Anda sehingga terlepas dari peleknya, tidak ada alasan untuk tidak menggembungkan ban motor listrik Anda hingga batasnya agar sesuai dengan tujuan Anda. Batas atas ditentukan oleh tingkat ketidaknyamanan Anda dari getaran jalan yang ditransmisikan ke tubuh Anda. Ban keras batu baik-baik saja; satu-satunya peringatan nyata adalah tidak membebani ban Anda.

5.6.5 Tarikan Rem dan Gerakan Kemudi Menghambat Putaran

Selain ban, *rolling resistance* berasal dari drag rem dan kemudi, dan "*scuff*" pelurusan suspensi. Seret rem adalah alasan lain mengapa kendaraan bekas lebih unggul daripada yang baru di departemen *rolling resistance* —hambatan rem biasanya hilang saat kendaraan dibobol. Paling buruk itu seperti menyeret kaki Anda yang lain di belakang Anda berbelok 90° ke arah Anda berjalan. Anda ingin memeriksa dan memastikan keselarasan roda depan berada pada tingkat spesifikasi manufaktur, dan Anda tidak secara tidak sengaja membeli sasis yang roda belakangnya melacak jalan raya dengan cara menyamping. Tapi tak satu pun dari ini memberikan kontribusi jumlah yang merusak untuk *rolling resistance*: koefisien drag rem dapat diperkirakan sebagai faktor 0,002 konstan, dan drag kemudi / suspensi sebagai faktor 0,001 konstan. Secara bersama-sama, mereka hanya menambahkan 0,003 —atau tambahan 3 pon. Gaya yang dibutuhkan oleh kendaraan seberat 1.000 lbs. berjalan dipermukaan yang datar.

5.6.6 Data Kekuatan Hambatan Putar Bisa Digunakan

Untuk sebagian besar tujuan, C_r nominal 0,015 (untuk beton) dengan rem nominal dan drag kemudi 0,003 ditambahkan ke dalamnya (total 0,018) adalah semua yang Anda butuhkan. Ini menghasilkan 18,0 lbs. kekuatan rolling resistance untuk 1.000 lb. kendaraan. 3.800 lb. Truk pikap Ford Ranger Bab 10 akan memiliki rolling

resistance 68,4 lbs. (3.800 pon berat pikap 3 0,018, atau 3,8 3 18 pon). Pada 30 mph, gaya hambat aerodinamis pada truk pickup Ford Ranger Bab 10 adalah 31,08 lbs, kurang dari setengah kontribusi 68,4 lbs-nya dari hambatan rolling resistance.

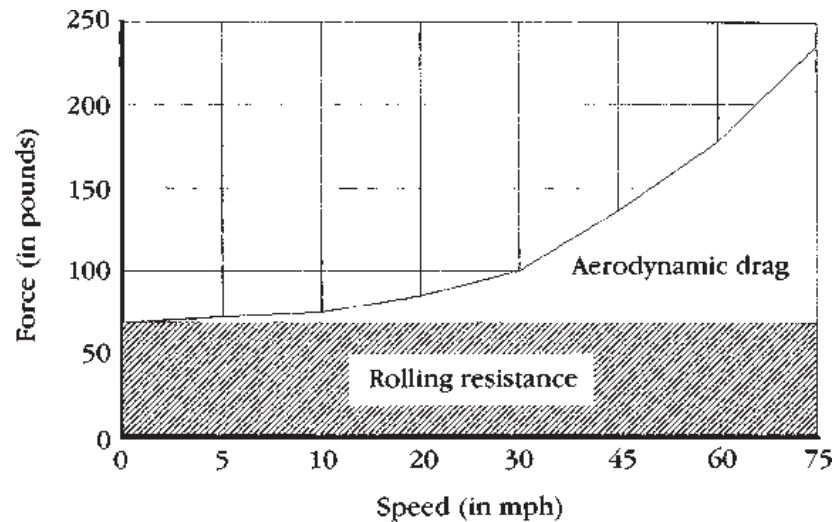
Gambar 5.5 menunjukkan gaya drag aerodinamis dan gaya rolling resistance pada truk pickup Ford Ranger Bab 10 yang diplot untuk beberapa kecepatan kendaraan. Kedua gaya ini, bersama dengan gaya akselerasi atau mendaki bukit, merupakan daya dorong atau beban jalan.

Perhatikan 68,4 lbs. gaya rolling resistance adalah komponen utama dari drag sampai gaya drag aerodinamis mengambil alih di atas 45 mph. Menambahkan gaya yang diperlukan untuk berakselerasi pada kecepatan 1 mph/dtk secara nominal setara dengan yang diperlukan untuk mendaki 4,5% tanjakan, hanya menggeser gabungan kurva gaya resistensi *drag-rolling* aerodinamis ke atas sebesar 207,9 lbs. (3,8 3 54,7 lbs.) untuk pickup. Kita akan melihat kekuatan ini sekali lagi di bagian desain.

5.7 Pengetahuan Seputar Rantai Penggerak

Di bagian ini, Anda akan melihat baris *Drivetrain* pada Gambar 5.1 dan melihat cara memaksimalkan komponen drivetrain kendaraan mesin pembakaran internal yang Anda adopsi untuk konversi motor listrik Anda.

Drivetrain di kendaraan apa pun terdiri dari komponen-komponen yang mentransfer tenaga penggeraknya ke roda dan ban. Masalahnya adalah, dua kosakata terpisah digunakan ketika berbicara tentang drivetrain untuk motor listrik sebagai lawan untuk mesin pembakaran internal. Bagian ini akan membahas komponen dasar; menutupi perbedaan dalam spesifikasi kinerja motor versus mesin; membahas pemilihan gigi transmisi; dan lihat pertukaran antara transmisi otomatis versus manual, baru versus bekas, dan cairan berat versus ringan pada efisiensi drivetrain.



Gambar 5.5 Resistensi rolling dan drag aerodinamis dibandingkan kecepatan.

5.7.1 Rantai Penggerak

Mari kita mulai dengan apa yang harus dicapai oleh drivetrain pada kendaraan bermesin pembakaran internal konvensional. Dalam istilah praktis, daya yang tersedia dari mesin harus sama dengan pekerjaan mengatasi hambatan traksi yang dibahas sebelumnya untuk kecepatan tertentu. Misi yang jelas dari *drivetrain* adalah menerapkan tenaga mesin untuk menggerakkan roda dan ban dengan kerugian paling kecil (efisiensi tertinggi).

Namun secara keseluruhan, *drivetrain* harus melakukan sejumlah tugas:

- Ubah torsi dan kecepatan mesin menjadi traksi gerak kendaraan
- Ubah arah, memungkinkan gerak kendaraan maju dan mundur
- Memungkinkan kecepatan putaran roda penggerak yang berbeda saat menikung
- Mengatasi bukit dan tanjakan
- Maksimalkan penghematan bahan bakar

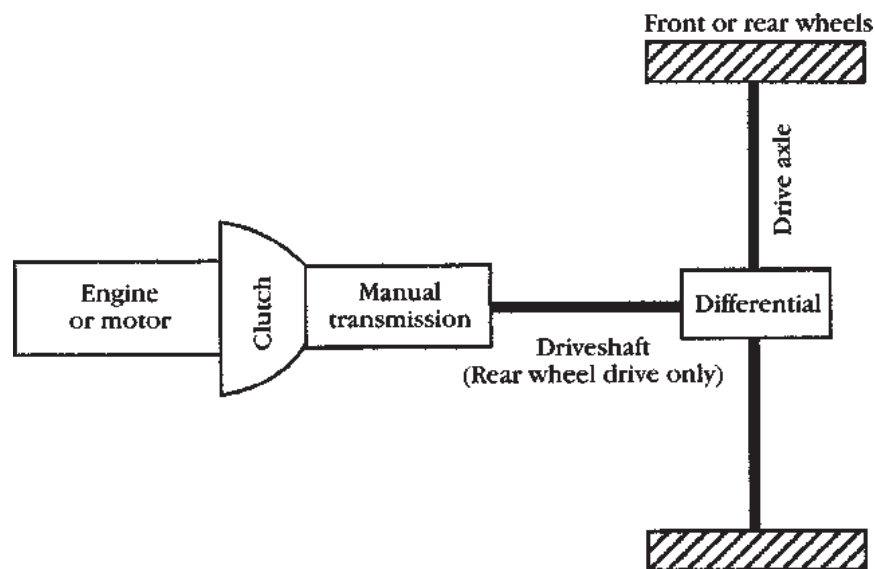
Tata letak *drivetrain* yang ditunjukkan dalam bentuk yang disederhanakan pada Gambar 5.6 paling banyak digunakan untuk mencapai tujuan ini saat ini. Fungsi dari masing-masing komponen tersebut adalah sebagai berikut:

- Mesin (atau Motor Listrik)—Menyediakan tenaga mentah untuk menggerakkan kendaraan.
- Kopling—Untuk mesin pembakaran dalam, memisahkan atau memutus aliran daya dari mesin sehingga gigi transmisi dapat digeser dan, setelah diaktifkan, kendaraan dapat digerakkan dari diam ke kecepatan tertinggi.
- Transmisi Manual—Menyediakan sejumlah rasio gigi alternatif untuk mesin sehingga kebutuhan kendaraan—torsi maksimum untuk mendaki bukit atau

kecepatan minimum untuk daya jelajah yang ekonomis pada kecepatan maksimum—dapat diakomodasi.

- *Driveshaft*—Menghubungkan roda penggerak ke transmisi pada kendaraan berpengerak roda belakang; tidak diperlukan pada kendaraan berpengerak roda depan.
- Diferensial—Mengakomodasi fakta bahwa roda luar harus menempuh jarak yang lebih jauh daripada roda dalam saat kendaraan menikung, dan menerjemahkan gaya penggerak 90° pada kendaraan berpengerak roda belakang (mungkin atau tidak pada kendaraan berpengerak roda depan, tergantung tentang bagaimana mesin dipasang). Kebanyakan diferensial juga memberikan pengurangan kecepatan dengan peningkatan torsi yang sesuai.
- Gandar Penggerak—Mentransfer daya dari diferensial ke roda penggerak.

Tabel 5.8 menunjukkan bahwa Anda biasanya dapat mengharapkan efisiensi 90% atau lebih besar (sedikit lebih baik untuk kendaraan penggerak roda depan) dari drivetrain saat ini. Drivetrain kendaraan mesin pembakaran internal menyediakan semua yang diperlukan untuk memungkinkan motor listrik digunakan sebagai pengganti mesin yang dilepas dan komponen terkait untuk menggerakkan kendaraan. Tetapi komponen drivetrain biasanya sangat berlebihan bagi pemilik motor listrik. Alasannya berkaitan dengan perbedaan karakteristik mesin pembakaran dalam versus motor listrik, dan cara spesifikasinya.



Gambar 5.6 Tata letak drivetrain motor listrik yang disederhanakan.

5.7.2 Perbedaan Motor dan Spesifikasi Mesin

Membandingkan motor listrik dan mesin pembakaran dalam bukanlah perbandingan “apel dengan apel”. Jika seseorang menawarkan Anda motor listrik

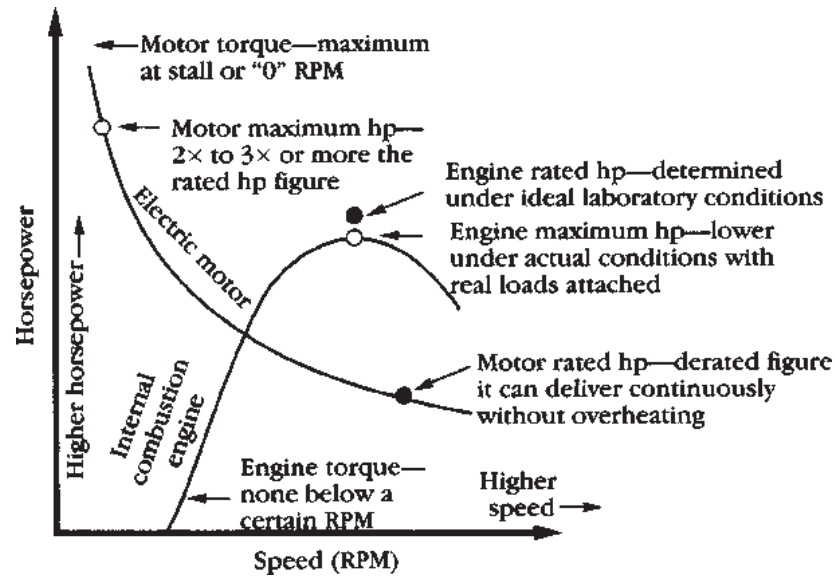
atau mesin pembakaran internal dengan tenaga kuda yang sama, ambil motor listriknya—ini jauh lebih bertenaga. Selain itu, motor listrik seri lilitan menghasilkan torsi puncak saat dinyalakan (nol RPM), sedangkan mesin pembakaran internal tidak menghasilkan apa-apa sampai Anda memutar RPM-nya. Motor listrik sangat berbeda dari mesin pembakaran internal sehingga diskusi singkat tentang istilah diperlukan sebelum melangkah lebih jauh.

Ada perbedaan substansial dalam cara motor listrik dan mesin pembakaran internal dinilai dalam tenaga kuda. Tujuan Gambar 5.7 adalah untuk menunjukkan sekilas bahwa motor listrik lebih bertenaga daripada mesin pembakaran dalam dengan tenaga kuda yang sama.

Tabel 5.8 Perbandingan Efisiensi *Drivetrain* Roda Depan dan Belakang

Jenis drivetrain	Transmisi manual	Poros penggerak	Drive diferensial	Poros penggerak	Efisiensi keseluruhan
Penggerak roda depan	0.96	tidak dibutuhkan	.097	.098	0.91
Penggerak roda belakang	0.96	0.99	.097	.098	0.90

Semua mesin pembakaran internal dinilai pada tingkat RPM tertentu untuk torsi maksimum dan tenaga kuda maksimum. Peringkat tenaga kuda maksimum mesin pembakaran internal biasanya diturunkan di bawah kondisi laboratorium ideal (untuk mesin telanjang tanpa aksesoris terpasang), itulah sebabnya titik HP pengenal muncul di atas puncak maksimum kurva tenaga kuda mesin pembakaran internal pada Gambar 5.7. Motor listrik, di sisi lain, biasanya dinilai pada tingkat output kontinu yang dapat dipertahankan tanpa terlalu panas. Seperti yang dapat Anda lihat dari Gambar 5.7, nilai HP point untuk motor listrik jauh lebih rendah dari output jangka pendeknya, yang biasanya dua hingga tiga kali lebih tinggi daripada output kontinunya.



Gambar 5.7 Perbandingan Motor Listrik Dengan Karakteristik Mesin Pembakaran Dalam.

Ada perbedaan substansial lainnya. Sementara motor listrik dapat menghasilkan torsi tinggi pada kecepatan nol, mesin pembakaran internal menghasilkan torsi negatif sampai beberapa kecepatan tercapai. Oleh karena itu, motor listrik dapat dipasang langsung ke roda penggerak dan mempercepat kendaraan dari keadaan diam tanpa memerlukan kopling, transmisi, atau konverter torsi yang diperlukan oleh mesin pembakaran internal. Semuanya bisa dilakukan dengan mengendalikan arus penggerak ke motor listrik. Sementara mesin pembakaran internal hanya dapat menghasilkan torsi puncak dalam rentang kecepatan yang relatif sempit, dan memerlukan transmisi dan rasio roda gigi yang berbeda untuk menyalurkan tenaganya pada rentang kecepatan kendaraan yang luas, motor listrik dapat dirancang untuk menyalurkan tenaganya pada rentang kecepatan yang luas. tanpa perlu transmisi sama sekali.

Semua faktor ini berarti bahwa konversi motor listrik saat ini memberikan beban yang lebih ringan pada drivetrain kendaraan yang dipinjam dari mesin pembakaran internal, dan konversi motor listrik di masa mendatang menghilangkan kebutuhan akan beberapa komponen drivetrain secara bersamaan. Mari kita rangkum secara singkat:

- **Kopling** —Meskipun pada dasarnya tidak digunakan, kopling praktis untuk dimiliki dalam konversi mobil listrik saat ini karena ujung depannya memberi Anda tempat yang mudah untuk memasang motor listrik, dan ujung belakangnya sudah nyaman dikawinkan dengan transmisi. Singkatnya, ini menghemat pekerjaan membangun adaptor, dll. Di masa depan, ketika adopsi luas motor AC dan pengontrol menghilangkan kebutuhan untuk transmisi

mekanis yang rumit, motor listrik dapat langsung digabungkan ke yang disederhanakan, ringan, satu arah, transmisi rasio satu atau dua gigi, menghilangkan kebutuhan akan kopleng.

- Transmisi —Item praktis lainnya dalam konversi mobil listrik saat ini, roda gigi transmisi tidak hanya cocok dengan kendaraan yang Anda konversi ke berbagai motor listrik siap pakai, tetapi juga memberi Anda kontrol mundur mekanis yang meniadakan kebutuhan untuk dua motor arah dan pengontrol —sekali lagi menyederhanakan pekerjaan Anda. Di masa depan, ketika adopsi motor dan pengontrol AC secara luas memberikan kontrol arah dan menghilangkan kebutuhan akan sejumlah besar roda gigi mekanis untuk mendapatkan torsi dan kecepatan yang Anda butuhkan, transmisi saat ini akan dapat digantikan oleh transmisi yang sangat disederhanakan (dan bahkan lebih dapat diandalkan) perangkat mekanis.
- *Driveshaft, Diferensial, Gandar Drive*—Semua komponen ini digunakan secara utuh dalam konversi mobil listrik saat ini. Karena kendaraan listrik kontemporer yang dibangun dari bawah tanah seperti General Motors Impact menggunakan dua motor AC dan menempatkannya di sebelah roda penggerak, tidak terlalu sulit untuk membayangkan solusi yang lebih sederhana untuk mobil listrik masa depan, karena motor listrik (dengan hanya satu bagian yang bergerak) sangat mudah dirancang untuk mengakomodasi peran yang berbeda.

5.7.3 Seputar Persneling

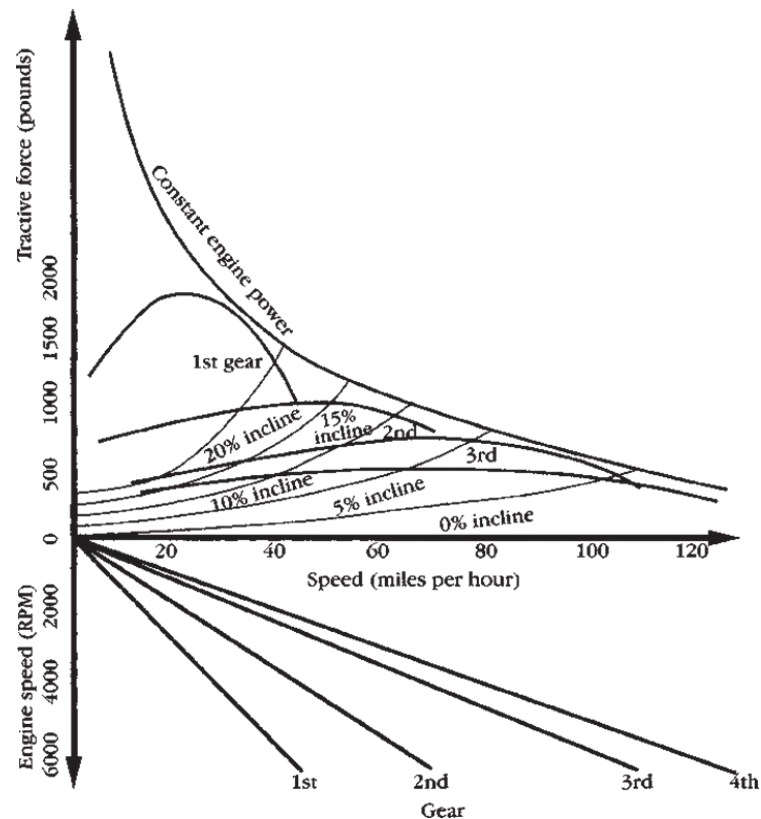
Rasio gigi transmisi, dikombinasikan dengan rasio yang tersedia dari diferensial (atau bagian belakang, seperti yang kadang-kadang disebut dalam jargon otomotif), menyesuaikan karakteristik daya dan torsi mesin pembakaran internal dengan kebutuhan torsi maksimum untuk mendaki bukit atau kebutuhan ekonomi maksimum untuk jelajah. Gambar 5.8 menunjukkan sekilas hal ini untuk mesin pembakaran internal tipikal dengan empat gigi maju manual —karakteristik tenaga kuda/ torsi versus kecepatan kendaraan muncul di atas garis dan RPM versus kecepatan kendaraan muncul di bawah. Saluran tenaga mesin konstan hanyalah persamaan 5, hp 5 FV/375 (V dalam mph), dikurangi kerugian *drivetrain*.

Garis gaya traksi untuk setiap roda gigi hanyalah karakteristik kurva torsi mesin pembakaran internal (mirip dengan yang ditunjukkan pada Gambar 5.7) dikalikan dengan rasio untuk roda gigi tersebut. Lajur gaya miring yang ditumpangkan adalah komponen gaya propulsi atau beban jalan tipikal yang ditambahkan oleh gaya akselerasi atau mendaki bukit (ingat bentuk kurva ini pada Gambar 5.5). Perpotongan antara kurva tanjakan atau beban jalan dan kurva gaya traksi adalah kecepatan maksimum yang dapat dipertahankan pada roda gigi tersebut. Setengah bagian atas Gambar 5.8 mengilustrasikan bagaimana persneling pertama

yang rendah untuk *startup* dan persneling keempat yang tinggi untuk pengendalian kecepatan tinggi berlaku untuk kemampuan *torsi engine*.

Bagian bawah Gambar 5.8 menunjukkan kecepatan jalan versus kecepatan mesin untuk setiap gigi yang muncul. Inti dari gambar ini adalah untuk mengilustrasikan bagaimana pemilihan gigi diterapkan pada kemampuan putaran mesin. Biasanya, rasio gigi keseluruhan dipilih untuk jatuh dalam perkembangan geometris: $1/2 = 2/3$, dll. Kemudian masing-masing gigi dioptimalkan untuk *start* (ke-1), *passing* (ke-2 atau ke-3), dan *penghematan bahan bakar* (ke-4 atau ke-5).

Tabel 5.9 menunjukkan bagaimana rasio ini terjadi pada mobil produksi actual dalam hal ini Ford 1989 Taurus SHO. Perhatikan dua pasang gigi pertama berada dalam rasio 1,5, sedangkan dua berikutnya bergerak ke 1,35. Tabel 5.9 juga menghitung transmisi actual, diferensial, dan rasio gigi keseluruhan (keseluruhan sama dengan diferensial waktu transmisi) untuk truk pikap Ford Ranger 1987 yang nantinya akan digunakan di bagian desain. Perhatikan bahwa Ranger dioptimalkan di kedua ujung rentang tetapi lebih rendah di tengah versus Taurus, yang mencerminkan perbedaan dalam desain mobil versus truk.



Gambar 5.8 Rasio gigi transmisi versus kecepatan dan ringkasan daya.

5.7.4 Transmisi Otomatis dan Manual

Pembahasan transmisi awal sengaja menghindari transmisi otomatis. Alasannya sederhana: pemilik mobil listrik membutuhkan efisiensi, dan transmisi otomatis sangat tidak efisien. Ada alasan bagus lainnya bahkan dengan komponen siap pakai, Anda tidak akan terlalu banyak menggeser persneling dengan EV. Jika Anda berkendara di sekitar kota, Anda mungkin hanya menggunakan satu atau dua roda gigi. Anda hanya menempatkan kendaraan listrik Anda di gigi yang Anda butuhkan dan pergi. Ada jauh lebih sedikit kebutuhan untuk kopling juga. Ingat, ketika Anda sedang duduk di persimpangan, motor listrik Anda bahkan tidak berputar.

Dua kipas rumah tangga biasa dapat mendemonstrasikan prinsip konverter torsi yang digunakan transmisi otomatis. Atur mereka saling berhadapan sekitar dua kaki terpisah dan nyalakan satu; yang lain mulai berputar dengannya. Transmisi otomatis menggunakan cairan transmisi daripada udara sebagai media kopling, tetapi prinsipnya sama. Transmisi otomatis memiliki efisiensi maksimum 80%, yang turun drastis pada putaran mesin atau tingkat torsi kendaraan yang lebih rendah. Transmisi otomatis juga biasanya dicocokkan karakteristiknya dengan keluarga mesin pembakaran internal tertentu dengan rentang torsi puncak terbatas, persis berlawanan dengan perilaku motor listrik. Singkatnya, pilih model dengan kopling dan transmisi manual untuk kendaraan konversi mesin pembakaran internal Anda.

Tabel 5.9 Perbandingan Rasio Gigi Transmisi Keseluruhan untuk Ford Taurus SHO 1989 dan Pickup Ranger 1987

Gigi Transmisi	1989 Taurus SHO Secara Keseluruhan	Rasio ke gigi berikutnya	Transmisi Ranger Pickup 1987	Diferensial Pickup Ranger 1987	1987 Ranger Pickup Keseluruhan
1	12.01	1.5	3.96	3.45	13.66
2	7.82	1.5	2.08	3.45	7.18
3	5.16	1.35	1.37	3.45	4.73
4	3.81	1.35	1.00	3.45	3.45
5	2.79	N/A	0.84	3.45	2.90

5.7.5 Menggunakan Transmisi Bekas

Ada bonus di sini untuk konverter motor listrik yang mencari efisiensi. *Drivetrains* mengambil ribuan mil untuk dipakai ke dalam kondisi kerugian minimum mereka. Jika ditambah dengan fakta bahwa ban bekas memiliki hambatan gelinding yang lebih sedikit, hambatan rem berkurang karena tromol dan lapisan keausan mulus, dan *seal* oli dan gemuk memiliki hambatan lebih sedikit setelah periode keausan pecah, Anda dapat mengharapkan sekitar 20% lebih sedikit *rolling* dan *drivetrain*

resistensi dari kendaraan bekas daripada dari yang baru (dengan asumsi kendaraan bekas tidak terlalu aus atau disalahgunakan). Dan kendaraan bekas lebih murah.

5.7.6 Rantai Penggerak Berat dan Ringan, serta Pelumas

Konverter mobil listrik yang mencari efisiensi seharusnya tidak hanya menghindari transmisi otomatis, tetapi juga as roda yang terlalu besar, transmisi, kopling, atau apa pun yang menambah bobot dan mengurangi efisiensi. Bahkan *drivetrain* berbasis transmisi manual akan menunjukkan kerugian yang lebih tinggi saat beroperasi pada fraksi rendah dari torsi maksimum desain roda gigi, yang merupakan mode motor listrik normal. Beban motor listrik yang lebih rendah akan menghasilkan efisiensi yang lebih rendah dari suku cadang tugas berat daripada suku cadang biasa atau ekonomis. Cari kendaraan dengan mesin yang lebih ringan dan transmisi manual (misalnya, empat silinder daripada enam, dll.) dalam pencarian pembelian Anda. Model kuno sebelumnya dalam satu seri lebih disukai karena produsen cenderung memperkenalkan opsi kinerja yang lebih tinggi dalam beberapa tahun model berturut-turut.

Akibat wajar dari semua ini adalah pelumas yang Anda pilih. Menggunakan cairan viskositas yang lebih ringan di diferensial Anda memungkinkan segalanya menjadi jauh lebih mudah. Anda tidak melanggar aturan apa pun di sini. Alih-alih mendorong 500 tenaga kuda melalui *drivetrain* Anda, Anda berada di ekstrem yang berlawanan. Anda memasukkan motor listrik yang memungkinkan Anda melaju dengan 10% dari beban torsi puncak yang digunakan oleh mesin pembakaran internal yang baru saja Anda ganti. Perpindahan gigi Anda lebih sedikit, menggunakan torsi puncak yang lebih rendah, dan mungkin lebih jarang menggunakannya. Akibatnya motor listrik Anda hanya menempatkan beban paling ringan pada *drivetrain* kendaraan pembakaran internal Anda, dan Anda mungkin menggunakan 50% (atau kurang) dari kemampuan desain *drivetrain* Anda. Jadi lebih sedikit keausan pada roda gigi berarti Anda dapat menggunakan pelumas viskositas yang lebih ringan dan mendapatkan manfaat tambahan dari peningkatan efisiensi lebih lanjut.

5.8 Merancang Motor Listrik

Ini adalah langkah kedua. Lihatlah gambaran besar Anda terlebih dahulu. Sebelum Anda membeli, membangun, atau mengonversi, putuskan apa misi utama kendaraan listrik Anda: *dragster* berkecepatan tinggi untuk secara diam-diam menerbangkan lawan yang tidak curiga di lampu lalu lintas; selebaran jarak jauh untuk menjadi kandidat pemenang pada pertemuan Asosiasi Otomotif Listrik; atau kendaraan komuter utilitas untuk membawa Anda ke tempat kerja atau berbelanja bahan makanan, dengan kemampuan di antara keduanya. Bobot motor listrik Anda sangat penting untuk desain apa pun,

tetapi akselerasi tinggi di luar jalur akan menentukan satu jenis pendekatan desain dan rasio roda gigi, sementara desain jarak jauh akan mendorong Anda ke arah yang berbeda. Jika ini adalah mobil listrik komuter utilitas yang Anda cari, maka Anda akan ingin mempertahankan sedikit dari keduanya sambil mengoptimalkan fleksibilitas sasis Anda terhadap kebutuhan komuter jalan raya atau pengangkutan lingkungan dan pickup. Di bagian ini, Anda akan mempelajari cara mencocokkan kombinasi motor-drivetrain Anda dengan gaya bodi yang Anda pilih dengan mengikuti langkah-langkah berikut:

- Pelajari kapan harus menggunakan tenaga kuda, torsi, atau unit saat ini, dan mengapa
- Lihat ringkasan perhitungan
- Tentukan kebutuhan torsi yang diperlukan dari sasis kendaraan pilihan Anda
- Tentukan kemampuan yang tersedia dari motor listrik dan torsi *drivetrain* pilihan Anda.

Proses desain yang dijelaskan di sini dapat disesuaikan tanpa batas ke mobil listrik apa pun yang ingin Anda beli, buat, atau konversi.

5.8.1 Daya Kuda (HP), Torsi, dan Arus

Mari kita mulai dengan beberapa rumus dasar. Sebelumnya di bab ini, persamaan 2 dengan santai memperkenalkan Anda pada fakta bahwa

$$1 \text{ Horsepower (hp)} = 550 \text{ ft-lb/detik}$$

Ini kemudian dengan mudah digabungkan ke dalam persamaan 5

$$1 \text{ Tenaga Kuda (hp)} = FV/375$$

Dimana V adalah kecepatan yang dinyatakan dalam mph dan F dalam gaya lb.

Horsepower adalah tingkat melakukan pekerjaan. Dibutuhkan 1 hp untuk menaikkan 550 lbs. satu kaki dalam satu detik. Tetapi persamaan kedua, yang menghubungkan gaya dan kecepatan, memberikan tenaga kuda kepada Anda dalam istilah yang lebih akrab. Dibutuhkan 1 hp untuk memindahkan 37,5 lbs. pada 10 mph. Hebat, tapi Anda juga bisa memindahkan 50 lbs. pada 7,5 mph dengan 1 hp. Contoh pertama mungkin menggambarkan gaya yang dibutuhkan untuk mendorong kendaraan ke depan pada kemiringan yang datar; yang kedua menggambarkan gaya yang diperlukan untuk mendorong kendaraan yang sama ini ke atas suatu bidang miring. *Horsepower* sama dengan kekuatan kali kecepatan, tetapi Anda perlu menentukan kekuatan dan kecepatan yang Anda bicarakan. Misalnya, karena kita sudah tahu bahwa 146,19 lbs. adalah gaya hambat total pada pickup Ranger seberat 3.800 pon pada 50 mph, dan persamaan 5 menghubungkan daya aktual yang dibutuhkan pada roda kendaraan sebagai fungsi dari kecepatannya dan gaya traksi yang diperlukan:

$$Hp = (146.19 \times 50)/375 = 19.49 \text{ atau sekitar } 20 \text{ hp}$$

Hanya diperlukan sekitar 20 hp pada roda untuk mendorong truk pikap ini dengan kecepatan 50 mph di jalan datar tanpa angin. Bahkan, motor listrik 20-hp pengenal akan dengan mudah mendorong 4.000-lb. kendaraan dengan kecepatan 50 mph—sebuah fakta yang mungkin akan mengejutkan mereka yang berpikir dalam hal mesin pembakaran internal 90-hp atau 120-hp yang mungkin baru saja dikeluarkan dari pickup.

Intinya di sini adalah untuk mengkondisikan diri Anda untuk berpikir dalam hal nilai gaya, yang relatif mudah ditentukan, daripada dalam hal angka tenaga kuda yang diperoleh secara berbeda untuk mesin versus motor listrik, dan itu berarti sedikit sampai terikat pada gaya tertentu. dan nilai kecepatan pula.

Hal lain (dibahas secara lebih rinci dalam pembahasan Bab 6 tentang motor listrik dan pembahasan Bab 9 tentang sistem kelistrikan) adalah memikirkan arus ketika bekerja dengan motor listrik. Arus berhubungan langsung dengan torsi motor. Melalui hubungan torsi-arus, Anda dapat langsung menghubungkan dunia mekanik dan listrik. (Catatan: Kontroler memberikan perkalian arus. Dengan kata lain, jika tegangan motor sepertiga tegangan baterai, maka arus motor sedikit kurang dari tiga kali arus baterai. Arus motor dan baterai akan sama hanya jika Anda menggunakan pengontrol resistif yang sangat tidak efisien.)

5.8.2 Gambaran Perhitungan

Perhatikan bahwa titik awal dalam perhitungan adalah titik akhir dari nilai gaya yang diperlukan. Setelah Anda mengetahui gaya yang bekerja pada sasis kendaraan Anda pada kecepatan tertentu, sisanya mudah. Untuk pendekatan perhitungan Anda, pertama-tama tentukan nilai-nilai ini, lalu masukkan nilai motor dan drivetrain Anda untuk titik operasi pusat desainnya, baik itu speedster 100-mph, selebaran ekonomi 20-mph, atau kendaraan utilitas 50-mph. Kecepatan 50-mph akan menjadi pusat desain untuk contoh kendaraan utilitas truk pickup kami.

Singkatnya, Anda perlu memilih kecepatan, pilih motor listrik untuk kecepatan itu, pilih RPM di mana motor menghasilkan tenaga kuda itu, pilih rasio roda gigi target berdasarkan RPM itu, dan lihat apakah motor memberikan torsi di atas rentang tersebut. tingkat dan kondisi mendaki bukit yang Anda butuhkan. Setelah Anda melalui persamaan, lembar kerja, dan hasil grafik yang tercakup dalam bagian ini, dan mengulanginya dengan nilai Anda sendiri, Anda akan menemukan prosesnya cukup sederhana.

Seluruh proses dirancang untuk memberi Anda hasil grafik yang dapat Anda gunakan dengan cepat untuk melihat bagaimana torsi yang tersedia dari motor

dan drivetrain pilihan Anda memenuhi persyaratan torsi kendaraan Anda pada kecepatan kendaraan yang berbeda. Jika Anda memiliki komputer mikro dengan program spreadsheet, Anda dapat mengaturnya sekali, dan setelah itu membuat grafik hasil dari setiap parameter input yang diubah dalam hitungan detik. Dalam bentuk persamaan, yang kita katakan adalah

$$\begin{aligned} \text{Tenaga mesin yang tersedia} &= \text{Permintaan tahanan traksi} \\ \text{Daya} &= (\text{Akselerasi} + \text{Mendaki} + \text{Bergulir} + \text{Seret} + \text{Angin}) \text{ Resistansi} \end{aligned}$$

Memasukkan ke dalam persamaan gaya memberi Anda:

$$\begin{aligned} \text{Angkatan} &= F_a + F_h + F_r + F_d + F_w \\ \text{Angkatan} &= C_i W_a + W \sin \phi + C_r W \cos \phi + C_d A V^2 + C_w F_d \end{aligned}$$

Anda telah menentukan semuanya di awal bab ini. Dalam kondisi kecepatan tetap, percepatan adalah nol, jadi tidak ada gaya percepatan. Jika Anda berada di permukaan yang datar, $\sin \phi = 0$, $\cos \phi = 1$ dan persamaan gaya dapat ditulis ulang sebagai

$$\text{Angkatan} = C_r W \cos \phi + C_d A V^2 + C_w F_d$$

Ini adalah gaya propulsi atau beban jalan yang Anda temui di akhir bagian tahanan gelinding dan digambarkan untuk pickup Ford pada Gambar 5.5. Anda perlu menentukan gaya ini untuk kendaraan Anda pada beberapa calon kecepatan kendaraan, dan menambahkan kembali gaya akselerasi dan mendaki bukit. Ini mudah jika Anda ingat bahwa gaya akselerasi sama dengan gaya mendaki bukit pada rentang dari 1 mph/s hingga 6 mph/s.

Anda sekarang dapat menghitung tenaga kuda yang dibutuhkan motor listrik Anda untuk pusat desain motor listrik Anda.

$$\begin{aligned} \text{Tenaga kuda (hp)} &= (\text{Torsi} \times \text{RPM}) / 5252 \quad 5 = 2\pi / 60 \times FV / 550 \\ \text{Roda RPM} &= (\text{mph} \times \text{Revolusi/mil}) / 60 \end{aligned}$$

Persamaan sebelumnya dapat diganti menjadi

$$\text{HP}_{\text{wheel}} = (\text{Torque}_{\text{wheel}} \times \text{mph} \times \text{Revolusi/mil}) / (5252 \times 60)$$

tapi,

$$\text{hp}_{\text{motor}} = \text{hp}_{\text{wheel}} / n_o$$

di mana tidak adalah efisiensi drivetrain secara keseluruhan. Mengganti persamaan sebelumnya menjadi ini memberi Anda:

$$hp_{motor} = (Torque_{wheel} \times mph \times Revolusi/mil) / (315120 \times n_o)$$

Memasukkan nilai torsi, kecepatan, dan putaran/mil (berdasarkan diameter ban kendaraan Anda) ke dalam persamaan akan memberi Anda tenaga kuda yang diperlukan untuk motor listrik Anda.

Setelah Anda memilih calon motor listrik Anda, pabrikan biasanya akan memberi Anda grafik atau tabel yang menunjukkan torsi dan arus versus kinerja kecepatan berdasarkan tegangan konstan yang diterapkan ke terminal motor. Dari angka atau kurva ini, Anda dapat memperoleh RPM di mana motor listrik Anda menghasilkan paling dekat dengan tenaga kuda terukurnya. Menggunakan angka RPM motor ini dan angka RPM roda, yang memberi Anda RPM roda dari kecepatan dan RPM target Anda, Anda dapat menentukan gigi atau rasio roda gigi terbaik dari

$$Rasio\ gigi\ keseluruhan = RPM_{motor} / RPM_{roda}$$

Ini adalah gigi terbaik untuk transmisi di kendaraan pilihan Anda untuk digunakan; jika Anda menyiapkan mobil listrik satu gigi saja, Anda akan memilih rasio ini. Dengan semua nilai torsi dan RPM motor lainnya, Anda kemudian dapat menghitung torsi roda dan kecepatan kendaraan menggunakan persamaan berikut untuk rasio gigi keseluruhan yang berbeda di drivetrain Anda:

$$Torque_{wheel} = Torque_{motor} / (rasio\ gigi\ keseluruhan \times n_o)$$

$$Kecepatan_{kendaraan} \text{ (dalam mph)} = (RPM_{motor} \times 60) / (rasio\ gigi\ keseluruhan \times Revolusi/mil)$$

Anda sekarang memiliki keluarga kurva torsi yang tersedia versus kecepatan kendaraan untuk rasio roda gigi yang berbeda di drivetrain Anda. Yang tersisa hanyalah membuat grafik data torsi yang dibutuhkan dan data torsi yang tersedia pada grid yang sama. Sekilas melihat grafik memberitahu Anda jika Anda memiliki apa yang Anda butuhkan atau jika Anda perlu kembali ke papan gambar.

5.8.3 Lembar Kerja Torsi Yang Diperlukan

Tabel 5.10 menghitung data torsi yang diperlukan untuk pickup Ranger 1987, kendaraan yang akan dikonversi di Bab 10. Anda telah memenuhi semua nilai yang masuk ke gaya tarik level sebelumnya, tetapi tidak dalam satu lembar kerja. Sekarang mereka dikonversi ke nilai torsi menggunakan persamaan 11, dan nilai gaya dan torsi baru dihitung untuk nilai kemiringan dari 5 persen menjadi 25 persen. Mudah-mudahan, ini sesuai dengan nilai akselerasi masing-masing untuk 1 mph/s hingga 5 mph/s, dan keduanya dapat digunakan secara bergantian. Asumsi kendaraan semua muncul pada Tabel 5.10. Jika Anda sedang menyiapkan spreadsheet komputer, semua informasi jenis ini akan dikelompokkan dalam satu bagian sehingga Anda dapat melihat efek dari perubahan berat sasis, CdA, Cr, dan parameter lainnya. Anda mungkin juga ingin membuat grafik nilai kecepatan pada interval 5 mph untuk menyajikan gambar yang lebih akurat.

5.8.4 Lembar Kerja Torsi yang Tersedia

Ada beberapa pendahuluan yang harus dilalui sebelum Anda dapat menyiapkan lembar kerja torsi yang tersedia. Pertama, Anda harus menentukan daya kuda motor listrik menggunakan persamaan berikut:

$$hp_{motor} = (\text{Torque}_{\text{wheel}} \times \text{mph} \times \text{Revolusi/mil}) / (315120 \times n_o)$$

Memasukkan nilai nyata untuk pickup Ranger dengan ban P185/75R14 dan menggunakan nilai torsi dari Torque Required Worksheet pada kecepatan pusat

$$hp_{motor} = (152,04 \times 50 \times 808) / (315120 \times 0,9) = 21,66$$

Ini sangat sesuai dengan kemampuan model Advanced DC Motors FB1-4001 dengan daya 22 hp. Dari kurva torsi versus kecepatan pabrikan untuk motor ini digerakkan pada 120 volt konstan dan menggunakan persamaan ini:

$$hp = (\text{Torsi} \times \text{RPM}) / 5252 = (25 \times 4600) / 5252 = 21,89$$

Motor ini menghasilkan sekitar 22 hp pada 4600 RPM pada torsi 25 ft-lbs dan 170 amp. Selanjutnya, hitung RPM Roda menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Roda RPM} = (\text{mph} \times \text{Revolusi/mil}) / 60 = (50 \times 808) / 60 = 673,33$$

Anda kemudian dapat menghitung gigi terbaik menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Rasio gigi keseluruhan} = \text{RPM}_{\text{motor}} / \text{RPM}_{\text{roda}} = 4600 / 673,33 = 6,83$$

Dari Tabel 5.9, rasio keseluruhan gigi ke-2 sebesar 7,18 untuk pikap Ford Ranger muncul cukup dekat dengan angka ini, yang berarti harus memberikan kinerja

terbaik secara keseluruhan. Sekarang Anda siap untuk menyiapkan lembar kerja torsi yang tersedia yang ditunjukkan pada Tabel 5.11.

Lembar kerja ini mengatur nilai motor di paling kiri. Nilai torsi roda dan kecepatan kendaraan untuk gigi 1 sampai 5 bergerak dari kiri ke kanan melintasi lembar kerja, dan pada nilai torsi dan arus yang lebih tinggi dari atas ke bawah lembar kerja dalam setiap roda gigi. Hasil akhirnya adalah Anda sekarang memiliki torsi roda yang tersedia pada kecepatan kendaraan tertentu untuk setiap rasio roda gigi kendaraan. Sebuah spreadsheet akan membuat pekerjaan ini cepat; Anda bisa melihat sekilas efek dari tegangan motor yang bervariasi, ukuran ban, dll.

Tabel 5.10 Lembar Kerja Torsi Yang Diperlukan Untuk Pickup Ranger Ford 1987 Pada Kecepatan Dan Kemiringan Kendaraan Yang Berbeda*

Kecepatan kendaraan (mph)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Sin , = Arc tan 15% kemiringan	0.1484	0.1484	0.1484	0.1484	0.1484	0.1484	0.1484	0.1484	0.1484
Cos , = Arc tan 15% kemiringan	0.9889	0.9889	0.9889	0.9889	0.9889	0.9889	0.9889	0.9889	0.9889
Gaya miring WSin (lbs)	563.84	563.84	563.84	563.84	563.84	563.84	563.84	563.84	563.84
Gaya seret bergulir Cr WCos (lbs)	67.64	67.64	67.64	67.64	67.64	67.64	67.64	67.64	67.64
Total gaya seret, 15% (lbs)	637.94	647.49	662.56	683.16	709.27	740.92	778.09	820.78	868.99
Torsi drag total, 15% (ft-lbs)	663.48	673.41	689.08	710.50	737.66	770.57	809.23	853.63	903.77
Sin , = Arc tan kemiringan 20%	0.1962	0.1962	0.1962	0.1962	0.1962	0.1962	0.1962	0.1962	0.1962
Cos , = Arc tan kemiringan 20%	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806
Gaya miring WSin (lbs)	745.67	745.67	745.67	745.67	745.67	745.67	745.67	745.67	745.67
Gaya seret bergulir Cr WCos (lbs)	67.07	67.07	67.07	67.07	67.07	67.07	67.07	67.07	67.07
Total gaya seret, 20% (lbs)	819.20	828.75	843.82	864.41	890.53	922.18	959.34	1002.0	1050.3

Kecepatan kendaraan (mph)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Tahanan gelinding ban Cr	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Resistensi rem dan kemudi C r	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Total gaya bergulir (lbs)	68.4	68.4	68.4	68.4	68.4	68.4	68.4	68.4	68.4
Gaya hambat udara diam (lbs)	2.76	11.05	24.60	44.19	69.05	99.43	135.35	176.78	223.73
Faktor angin relatif C w	1.338	0.449	0.25	0.169	0.126	0.101	0.083	0.071	0.062
Gaya hambat angin relatif (lbs)	3.70	4.96	6.21	7.47	8.73	9.99	11.25	12.51	13.77
Total gaya seret, level (lbs)	74.86	84.40	99.47	120.07	146.19	177.83	215.00	257.69	305.91
Torsi drag total, level (ft-lbs)	77.85	87.78	103.45	124.87	152.04	184.95	223.60	268.00	318.15
Sin , = Arc tan 5% kemiringan	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500
Cos , = Arc tan kemiringan 5%	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988
Gaya miring WSin (lbs)	190.04	190.04	190.04	190.04	190.04	190.04	190.04	190.04	190.04
Gaya seret bergulir Cr WCos (lbs)	68.31	68.31	68.31	68.31	68.31	68.31	68.31	68.31	68.31
Total gaya seret, 5% (lbs)	264.81	274.36	289.43	310.02	336.14	367.78	404.95	447.64	495.86
Torsi drag total, 5% (ft-lbs)	275.41	285.34	301.01	322.43	349.59	382.50	421.16	465.56	515.71
Sin (kemiringan busur tan 10%)	0.0996	0.0996	0.0996	0.0996	0.0996	0.0996	0.0996	0.0996	0.0996
Cos (Kemiringan busur tan 10%)	0.9950	0.9950	0.9950	0.9950	0.9950	0.9950	0.9950	0.9950	0.9950
Gaya miring WSin (lbs)	378.52	378.52	378.52	378.52	378.52	378.52	378.52	378.52	378.52
Torsi drag total, 20% (ft-lbs)	851.99	861.92	877.59	899.01	926.18	959.08	997.74	1042.1	1092.3

Gaya seret bergulir Cr WCos (lbs)	68.06	68.06	68.06	68.06	68.06	68.06	68.06	68.06	68.06
Total gaya seret, 10% (lbs)	453.04	462.58	477.65	498.25	524.37	556.01	593.18	635.87	684.08
Torsi drag total, 10% (ft-lbs)	471.17	481.10	496.77	518.19	545.35	578.26	616.92	661.32	711.46
Sin , = Arc tan 25% kemiringan	0.2425	0.2425	0.2425	0.2425	0.2425	0.2425	0.2425	0.2425	0.2425
Cos , = Arc tan 25% kemiringan	0.9702	0.9702	0.9702	0.9702	0.9702	0.9702	0.9702	0.9702	0.9702
Gaya miring WSin (lbs)	921.46	921.46	921.46	921.46	921.46	921.46	921.46	921.46	921.46
Gaya seret bergulir Cr WCos (lbs)	66.36	66.36	66.36	66.36	66.36	66.36	66.36	66.36	66.36
Total gaya seret, 25% (lbs)	994.28	1003.8	1018.9	1039.5	1065.6	1097.3	1134.4	1177.1	1225.3
Torsi drag total, 25% (ft-lbs)	1034.1	1044.0	1059.7	1081.1	1108.3	1141.2	1179.8	1224.2	1274.4

* Nilai yang dihitung untuk pickup Ford Ranger 1987; berat = 3800 pon; koefisien hambatan, $C_d = 0,45$; luas frontal, $A = 24$ kaki persegi; faktor angin relatif, $C_w = 1,6$; angin relatif, $w = 7,5$ mph; ban = P185/75R14; putaran/mil = 808; pengali torsi = $840,34 / (\text{putaran/mil}) = 1,04$.

5.8.5 Torsi yang Dibutuhkan dan Grafik yang Tersedia

Yang tersisa hanyalah membuat grafik data torsi yang dibutuhkan dari Tabel 5.10 dan data torsi yang tersedia dari Tabel 5.11 pada grid yang sama versus kecepatan kendaraan. Hal ini dilakukan pada Gambar 5.9. Perhatikan kesamaannya dengan kurva pada Gambar 5.8 yang digambar untuk mesin pembakaran internal (kecuali bahwa kurva torsi yang tersedia menyerupai karakteristik motor listrik, perbandingan yang dibuat sebelumnya pada Gambar 5.7).

Bagaimana Anda membaca Gambar 5.9 dan apa yang dikatakannya? Area yang dapat digunakan dari setiap roda gigi adalah area di sebelah kiri dan di bawahnya, dibatasi di bagian bawah oleh torsi yang diperlukan pada kurva kondisi level. Anda ingin bekerja sejauh mungkin di kurva torsi yang tersedia untuk setiap gigi untuk penarikan arus minimum dan penghematan dan jangkauan maksimum. Grafik

menegaskan bahwa gigi 2 mungkin merupakan pilihan terbaik secara keseluruhan. Anda dapat memasukkan mobil listrik ke gigi kedua dan membiarkannya di sana, karena ini memberi Anda akselerasi 2 mph/dtk saat startup, kemampuan mendaki bukit hingga 15 persen tanjakan, dan memberi Anda torsi yang cukup untuk membawa Anda hingga sekitar 52,5 mph. Untuk mendaki gunung atau melompat cepat, gigi 1 memberi Anda semua yang Anda harapkan dengan mengorbankan benar-benar menyedot ampli, dari segi arus. Tapi di ujung lain dari gigi 1, jika Anda mengemudi seperti ada telur di antara kaki Anda dan pedal akselerator, sebenarnya hanya menarik 100 amp pada 45 mph versus 210 amp yang dibutuhkan oleh gigi 2. Pada kecepatan yang lebih tinggi, gigi ke-3 memungkinkan Anda melaju dengan kecepatan 60 mph pada 270 amp, dan gigi ke-4 memungkinkan Anda melaju dengan kecepatan 70 mph pada 370 amp. Pada kecepatan berapa pun, gigi ke-5 tampak marjinal di kendaraan khusus ini; meskipun mungkin dapat menahan 78 mph, dibutuhkan 440 amp untuk melakukannya. Pada kecepatan lain, roda gigi lain melakukannya lebih baik dengan penarikan arus yang lebih sedikit. Sementara penarikan saat ini adalah prioritas pertama Anda, terlalu banyak terlalu lama membuat motor Anda terlalu panas.

Anda juga tidak ingin melebihi peringkat kecepatan motor Anda, seperti yang akan Anda lakukan jika Anda mengemudi jauh di atas 45 mph di gigi 1. Apakah ini kombinasi motor dan drivetrain yang dapat digunakan untuk kendaraan ini? Pastinya. Jika Anda ingin melakukan penyesuaian kecil, cukup naikan atau turunkan voltase baterai. Ini akan menggeser kurva torsi yang tersedia untuk setiap gigi ke kanan (tegangan lebih tinggi) atau ke kiri (tegangan lebih rendah). Motor yang lebih besar dalam kendaraan khusus ini akan memberi Anda akselerasi dan performa kecepatan kelas atas yang lebih baik; kurva torsi yang tersedia untuk setiap gigi akan bergeser lebih tinggi. Tapi hukumnya akan lebih berat dan meningkatkan undian saat ini dan jarak yang lebih pendek. Motor yang lebih kecil akan menggeser kurva torsi yang tersedia lebih rendah sambil mengembalikan bobot yang kecil dan keuntungan penarikan arus. Namun berhati-hatilah agar kendaraan Anda tidak bertenaga. Jika diberi pilihan, selalu gunakan tenaga kuda yang sedikit lebih banyak daripada yang sedikit lebih sedikit dari yang Anda butuhkan. Hasilnya hampir selalu akan menjadi kepuasan yang lebih tinggi dengan konversi mobil listrik Anda yang telah selesai.

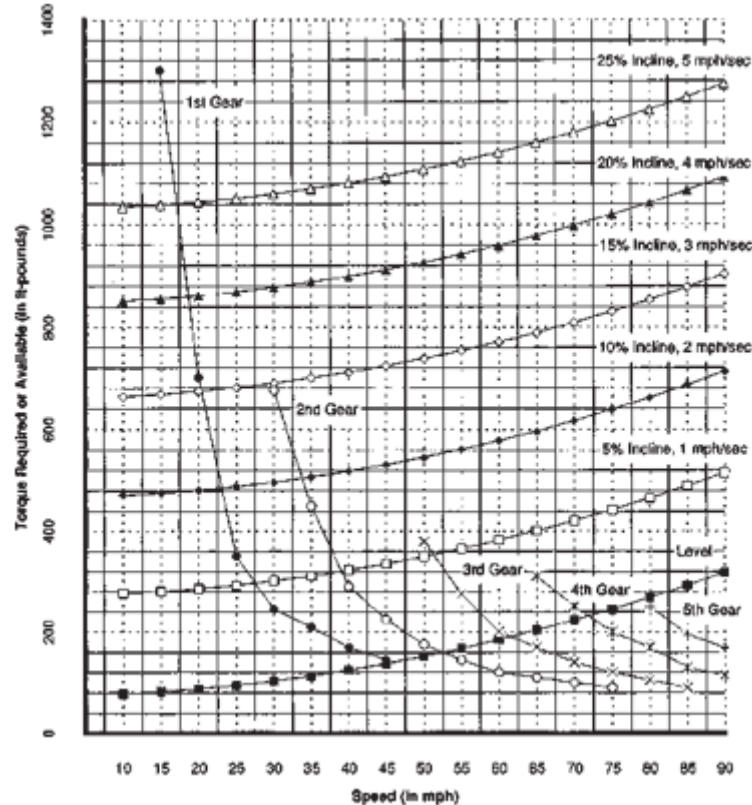
Tabel 5.11 Lembar Kerja Torsi yang Tersedia untuk Motor Seri DC 120-V yang Diberikan Tahun 1987 Pickup Ranger pada Kecepatan Motor dan Rasio Roda Gigi yang Berbeda

Perlengkapan kendaraan				1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
Rasio gigi keseluruhan Overall				13.66	13.66	7.18	7.18	4.73	4.73	3.45	3.45	2.9	2.9
Pengganda torsi motor, persamaan (12)				12.294		6.462		4.257			3.105	2.61	
Pengganda RPM, persamaan (13)					165.56		87.02		57.33		41.81		35.15
Arus dalam amp, torsi dalam ft-lbs, kecepatan kendaraan dalam mph	Arus Motor	Torsi Motor	RPM motor	Torsi Roda	Kecepatan kendaraan	Torsi Roda	Kecepatan kendaraan	Torsi Roda	Kecepatan kendaraan	Torsi Roda	Kecepatan kendaraan	Torsi Roda	Kecepatan kendaraan
	100	10	7750	122.94	46.81	64.62	89.06	42.57	135.19	31.05	185.34	26.1	220.5
	125	15	6400	184.41	38.66	96.93	73.54	63.86	111.64	46.58	153.06	39.15	182.09
	150	20	5000	245.88	30.2	129.24	57.46	85.14	87.22	62.1	119.58	52.2	142.26
	170	25	4600	307.35	27.78	161.55	52.86	106.43	80.24	77.63	110.01	65.25	130.88
	190	30	4100	368.82	24.76	193.86	47.11	127.71	71.52	93.15	98.05	78.3	116.65
	210	35	3900	430.29	23.56	226.17	44.82	149	68.03	108.68	93.27	91.35	110.96
	230	40	3700	491.76	22.35	258.48	42.52	170.28	64.54	124.2	88.49	104.4	105.27
	250	45	3500	553.23	21.14	290.79	40.22	191.57	61.05	139.73	83.7	117.45	99.58
	270	50	3400	614.7	20.54	323.1	39.07	212.85	59.31	155.25	81.31	130.5	96.73
	290	55	3350	676.17	20.23	355.41	38.5	234.14	58.44	170.78	80.12	143.55	95.31
	305	60	3250	737.64	19.63	387.72	37.35	255.42	56.69	186.3	77.73	156.6	92.47
	320	65	3150	799.11	19.03	420.03	36.2	276.71	54.95	201.83	75.33	169.65	89.62
	335	70	3050	860.58	18.42	452.34	35.05	297.99	53.2	217.35	72.94	182.7	86.78
	355	75	3000	922.05	18.12	484.65	34.47	319.28	52.33	232.88	71.75	195.75	85.35
	370	80	2950	983.52	17.82	516.96	33.9	340.56	51.46	248.4	70.55	208.8	83.93
	390	85	2900	1045	17.52	549.27	33.33	361.85	50.59	263.93	69.35	221.85	82.51
	405	90	2850	1106.5	17.21	581.58	32.75	383.13	49.71	279.45	68.16	234.9	81.09
	420	95	2800	1167.9	16.91	613.89	32.18	404.42	48.84	294.98	66.96	247.95	79.66
	440	100	2750	1229.4	16.61	646.2	31.6	425.7	47.97	310.5	65.77	261	78.24

Tabel 5.11 Lembar Kerja Torsi yang Tersedia untuk Motor Seri DC 120-V yang Diberikan Tahun 1987 Pickup Ranger pada Kecepatan Motor dan Rasio Roda Gigi yang Berbeda

* Nilai yang dihitung untuk pickup Ford Ranger 1987; ban = P185/75R14; putaran/mil = 808; efisiensi drivetrain keseluruhan = 0,90; motor traksi seri dc adalah Advanced DC Motors Model FBI-4001; baterai adalah 120 volt; persamaan (12) adalah $T_{wheel} = T_{motor}/(\text{rasio gigi})$

keseluruhan x efisiensi drivetrain keseluruhan); persamaan (13) adalah Kecepatan kendaraan = $\text{RPM}_{\text{motor}} \times 60 / (\text{rasio gigi keseluruhan} \times \text{putaran/mil})$.



Gambar 5.9 Torsi Kendaraan Listrik Diperlukan Versus Torsi Yang Tersedia.

5.9 Beli Chassis Mobil Listrik

Ini adalah langkah ketiga. Bahkan jika Anda keluar untuk membeli Motor listrik Anda yang sudah jadi, Anda masih ingin tahu pekerjaan seperti apa yang telah dilakukan pabrikan, sehingga Anda dapat memutuskan apakah Anda mendapatkan model terbaik untuk Anda. Dalam semua kasus lain, Anda akan melakukan pengoptimalan, baik dengan pilihan yang Anda buat di depan dalam pemilihan sasis atau dengan keputusan lain yang Anda buat nanti selama konversi.

Di bagian ini, Anda akan melihat poin-poin penting yang berkontribusi pada pembelian cerdas:

- Tinjau mengapa konversi adalah yang terbaik—sisi pro
- Mengapa konversi mungkin bukan untuk Anda—sisi kontra
- Cara mendapatkan penawaran terbaik
- Hindari sasis yang tidak bermerek, terlalu tua, rusak, kotor, atau berkarat
- Jauhkan daftar kebutuhan Anda berguna

- Beli atau pinjam manual sasis
- Jual suku cadang mesin yang tidak terpakai

5.9.1 Mengapa Mengubah Mobil itu Lebih Baik

Di dunia nyata, di mana waktu adalah uang, mengubah kendaraan mesin pembakaran internal yang ada menghemat uang dalam hal investasi modal yang besar dan sejumlah besar tenaga kerja. Dengan memulai dengan kendaraan model terbaru yang ada, bonus konverter motor listrik adalah struktur yang dilengkapi dengan bodi, sasis, suspensi, kemudi, dan sistem pengereman—semuanya dirancang, dikembangkan, diuji, dan terbukti aman untuk bekerja bersama. Asalkan kendaraan listrik yang dikonversi tidak melebihi berat keseluruhan GVWR kendaraan asli atau spesifikasi berat GAWR per gandar, semua sistem akan terus memberikan kinerja, stabilitas, dan karakteristik penanganan sebelumnya. Dan konverter motor listrik mewarisi bonus bodi lainnya—bumper, lampu, jendela berlapis pengaman, dll. sudah disetujui sebelumnya dan diuji untuk memenuhi semua persyaratan keselamatan.

Masih ada manfaat lain—Anda menghemat lebih banyak uang. Tempat barang rongsokan mobil menghasilkan uang dengan membeli seluruh mobil (truk, van, dll.) dan menjual potongannya lebih dari yang mereka bayarkan untuk mobil. Saat Anda membangun (bukan mengubah) motor listrik, Anda berada di sisi lain pagar. Kecuali Anda membeli kit yang lengkap, membangun dari awal berarti membeli tabung sasis, penyangga sudut, dan stok lembaran ditambah as/suspensi, rem, kemudi, bantalan/roda/ban, bodi/trim/cat, kaca depan/kaca/wiper, lampu/ listrik, pengukur, instrumen, dasbor/trim/pelapis interior, dll.—bagian yang pasti akan dikenakan biaya lebih la carte daripada membelinya yang sudah diproduksi dan dipasang di kendaraan yang sudah jadi.

5.9.2 Sisi Lain dari Perubahan Mobil Listrik

Apa kekurangannya? Kemungkinan kendaraan konversi apa pun yang Anda pilih tidak akan disederhanakan seperti pembalap derby kotak sabun. Ini akan jauh lebih berat dari yang Anda inginkan, dan memiliki ban yang dirancang untuk traksi daripada hambatan gelinding rendah. Anda melakukan yang terbaik yang Anda bisa di departemen ini tergantung pada tujuan penggunaan akhir Anda: motor listrik dragster, komuter, atau selebaran jalan raya.

Kemungkinan besar kendaraan konversi Anda dilengkapi dengan banyak suku cadang yang tidak lagi Anda perlukan: mesin pembakaran internal dan dudukannya, serta bahan bakar, knalpot, kontrol emisi, pengapian, starter, dan

sistem pendingin/pemanasnya. Ini Anda hapus dan, jika mungkin, jual. Kemudian Anda memiliki komponen kendaraan konversi tambahan yang mungkin ingin Anda ubah atau tingkatkan untuk kinerja yang lebih baik, seperti drivetrain, roda/ban, rem, kemudi, dan sistem kelistrikan aksesori baterai/tegangan rendah. Pada ini hanya melakukan apa yang masuk akal.

5.9.3 Bagaimana Mendapatkan Penawaran Terbaik

Ada sejumlah tren yang membantu Anda mendapatkan konversi motor listrik dengan harga terbaik, tetapi Anda tetap harus berbelanja. Membeli sasis motor listrik Anda tidak berbeda dengan membeli kendaraan pada umumnya. Kenakan sepatu bot Anda. Ambil buku bagus tentang membeli mobil baru atau bekas untuk membantu Anda. Ingatlah untuk tidak membocorkan niat Anda yang sebenarnya saat tawar-menawar, sehingga Anda dapat membuat skenario seperti ini: Ketika penjual berkata, "Sejujurnya, hanya dua dari empat silindernya yang berfungsi," Anda berkata, "Tidak masalah. Berapa banyak yang akan Anda turunkan harganya?" Atau situasi ideal: "Terus terang, itu adalah model terbersih di tempat parkir tetapi mesinnya tidak berfungsi," dan Anda berkata, "Tidak masalah. Biarkan saya mengambilnya dari tangan Anda seharga Rp 1.500.000." Kesepakatan terbaik Anda adalah ketika menemukan "lemon" yang tidak berfungsi yang ingin dijual seseorang—khususnya, lemon di departemen mesin. Jika Anda menemukan kendaraan seharga Rp 75.000.000 yang tidak dapat berjalan karena masalah mesin (tetapi yang lainnya berfungsi dengan baik), Anda dapat mengambilnya untuk sebagian kecil dari nilainya dan menghemat hampir seluruh biaya konversi. Carilah kesepakatan ini; mereka dapat menghemat sejumlah besar uang.

Selain karakteristik kendaraan tertentu, apa kendaraan antik terbaik untuk konversi dalam hal biaya? Sebagai aturan praktis, bekas lebih baik daripada baru, tetapi tidak terlalu bekas. Meskipun yang lebih tua lebih baik dalam hal biaya yang lebih rendah, Anda kehilangan banyak fitur keselamatan kendaraan yang lebih baru jika Anda melangkah terlalu jauh ke belakang. Jika Anda mundur lebih dari 10 hingga 15 tahun, Anda mulai mengalami kerusakan tubuh dan wilayah masalah jarak tempuh mekanis yang tinggi. Dan jika Anda kembali ke model klasik—tahun 1960-an dan model vintage sebelumnya—harga mulai naik lagi. Tetapi beberapa tren penting bekerja untuk keuntungan converter motor listrik

5.9.4 Kendaraan Bekas Tahun 1980-an dan ke Depan

Kendaraan model terbaru ini menghasilkan konversi motor listrik yang ideal. Mereka tidak hanya tersedia dengan harga yang lebih rendah daripada kendaraan baru dengan semua penyusutan berhasil, tetapi kendaraan dengan odometer

20.000 hingga 50.000 mil lebih baik untuk konverter motor listrik karena *drivetrain* kendaraan, rem, dan roda/ban menghasilkan lebih sedikit gesekan (gerinda dan ban). punggungan sudah aus, sepatu tidak lagi terseret dan segel terpasang, dll.) dan lebih mudah berguling/berputar.

Berikut adalah beberapa opsi yang harus dicari:

- Kendaraan Bekas Model Terbaru yang Dilucuti—Ini adalah kesepakatan yang lebih baik lagi. Hampir semua orang menginginkan model deluxe, V-8, transmisi otomatis, power- segalanya. Anda, di sisi lain, tertarik pada tongkat lurus, 4 silinder, model tanpa embel-embel yang tidak diinginkan siapa pun. Tenaga penjual akan jatuh di seluruh dirinya mencoba untuk membantu Anda. Cobalah untuk tetap tenang. Dan jangan katakan untuk apa sampai Anda menyelesaikan kesepakatan.
- Mobil/Truk Ringan, Awal 1980-an, 4 Silinder—Ini menunjukkan penjualan bermasalah untuk dealer mobil bekas dan sering kali didiskon hanya untuk memindahkannya. Kejutkan penjual yang menjual lemon 4 silinder itu kepada Anda—kunjungi bulan depan dalam konversi motor listrik 120 volt Anda yang menyemburkan api.
- Mobil/Truk Diesel Ringan atau Rotary yang Lebih Tua—Ini juga merupakan masalah penjualan untuk dealer mobil bekas karena calon pembeli tidak yakin akan kemampuan perbaikan mesin dan suku cadang. Dengan pemilik saat ini, kemungkinan besar mereka baru saja tidak disukai. Dalam kedua kasus, ini mewakili peluang pembelian untuk Anda.
- Mobil/truk dengan Mesin Ledakan atau Tanpa Mesin Sama sekali—Ini adalah masalah nyata untuk dipindahkan bagi pemilik mana pun, tetapi hadiah untuk Anda. Ini adalah pernikahan yang dibuat di surga dan Anda biasanya dapat menyebutnya dengan istilah. Pindai koran untuk mendapatkan penawaran ini.

Meminimalisir Sampah

Sementara model akhir, tawar-menawar yang tidak berjalan bagus, hindari situasi masalah. Hindari membeli sasis yang tidak bermerek, terlalu tua, rusak, kotor, atau berkarat. Suku cadang dan tenaga yang harus Anda tambahkan untuk membawanya ke tingkat model biasa yang digunakan membuat mereka tidak dapat ditawar. Penjual mungkin menawarkan Anda yang menggunakan Mingus 1957 hanya dengan \$50, tetapi di mana Anda mendapatkan suku cadangnya?

Kotoran dan karat baik-baik saja dalam jumlah sedang, tetapi terlalu banyak hal itu terlalu berlebihan. Jika Anda tidak tahu jenis mesin apa karena Anda tidak dapat melihatnya di kompartemen mesin, berikan pilihan ini. Anda tidak ingin

menghabiskan banyak waktu untuk membersihkan seperti yang Anda lakukan untuk mengubah atau membayar orang lain untuk melakukannya, hanya untuk menemukan bahwa bagian penting yang Anda pikir ada di bawah tanah dalam kondisi buruk atau tidak ada sama sekali.

Karat adalah karat, dan apa yang tidak dapat Anda lihat adalah yang terburuk. Bagaimana Anda bisa menempatkan kaki motor listrik terbaik Anda ke depan dalam ember karat untuk sasis? Jangan lakukan itu; berikan pilihan ini demi kendaraan bebas karat atau kendaraan dengan karat minimal.

5.9.5 Simpan Daftar Kebutuhan Anda

Terlepas dari kendaraan mana yang Anda pilih untuk konversi, Anda ingin merasa baik tentang kemampuan Anda untuk mengubahnya sebelum Anda meninggalkan tempat parkir. Jika terlalu kecil dan/atau sempit untuk memuat semua bagian listrik—apalagi baterainya—Anda tahu bahwa Anda memiliki masalah. Atau jika sangat kotor, berminyak, atau berkarat, Anda mungkin perlu berpikir dua kali.

Berikut daftar periksa singkat yang perlu diingat saat membeli:

- Berat—Dengan 120 volt dan motor DC seri 22 hp, 4.000 hingga 5.000 lbs. adalah tentang batas atas. Di sisi lain, komponen yang sama akan memberi Anda kinerja yang luar biasa dan jangkauan yang jauh lebih besar dalam 2.000 hingga 3.000 lb. kendaraan. Berat adalah segalanya dalam motor listrik—putuskan dengan hati-hati.
- Aerodinamis—Anda dapat mengubah hidung dan ekor kendaraan Anda untuk menghasilkan lebih sedikit hambatan dan/atau turbulensi, tetapi apa yang Anda lihat sebelum membelinya pada dasarnya adalah apa yang Anda miliki. Pilih dengan bijak dan aerodinamis.
- *Rolling Resistance*—Ban motor listrik khusus masih mahal, jadi carilah satu set radial bekas yang bagus dan pompalah dengan keras.
- *Drivetrain*—Anda tidak ingin otomatis; manual 4 atau 5 kecepatan akan bekerja dengan baik, dan penggerak roda depan biasanya memberi Anda lebih banyak ruang untuk memasang baterai. Hindari 8- dan 6-silinder demi 4-silinder, dan pilih kombinasi mesin/drivetrain terkecil dan teringan. Hindari tugas berat apa pun atau penggerak 4 roda.
- Sistem Kelistrikan—Meneruskan AC, jendela listrik, dan aksesoris daya apa pun.
- Ukuran—Apakah semua yang ingin Anda masukkan (baterai, motor, pengontrol, dan pengisi daya) memiliki ruang untuk muat? Seberapa mudah untuk melakukan pengkabelan?

- Usia dan Kondisi—Ini menentukan apakah Anda bisa mendapatkan suku cadangnya, dan seberapa mudah mengembalikannya ke kondisi yang layak untuk digunakan sebagai mobil Anda.

5.9.6 Beli atau Pinjam Buku Petunjuk

Manual sangat berharga. Jika memungkinkan, cari mereka untuk membaca tentang masalah tersembunyi sebelum Anda membeli kendaraan. Setelah Anda memilikinya, jangan menghabiskan waktu berjam-jam untuk mencari tahu apakah kabel bergaris merah atau hijau masuk ke blok terminal dasbor nomor 3; cukup buka skema yang sesuai di manual dan temukan dalam beberapa menit. Pembongkaran komponen menjadi mudah ketika Anda mengetahui bahwa Anda harus selalu melepaskan baut nomor 2 searah jarum jam sebelum memutar baut nomor 1 berlawanan arah jarum jam, dll. Percayalah, ini adalah penghemat tenaga kerja.

5.9.7 Jual Suku Cadang Mesin yang Tidak Digunakan

Seseorang di suatu tempat menginginkan mesin 4 silinder yang Anda lepaskan dari sasis motor listrik Anda untuk mobil mereka atau untuk besi tua. Tempelkan ini di atas area meja kerja Anda sebelum bagian yang dilepas mulai menumpuk debu atau mengeluarkan semua barang lain dari garasi Anda. Pertama, lakukan beberapa panggilan telepon untuk memasang iklan yang diinginkan; kemudian hubungi dealer dan tempat pembuangan sampah. Jika tidak ada pertimbangan uang tunai yang ditawarkan, lihat apakah Anda dapat menukar suku cadang dengan sesuatu yang berharga. Lakukan semua ini lebih awal, sebelum Anda berada di tengah pertobatan Anda. Tidak ada yang lebih buruk daripada mematikan jari kaki Anda di blok mesin sambil dengan acuh tak acuh menggunakan voltmeter Anda.

BAB VI

MOTOR LISTRIK

Jantung dari setiap kendaraan listrik adalah motor listriknya. Motor listrik datang dalam berbagai ukuran, bentuk, dan jenis dan merupakan perangkat mekanis paling efisien di planet ini. Tidak seperti mesin pembakaran dalam, motor listrik tidak mengeluarkan polutan. Secara teknis, ada tiga bagian yang bergerak dalam motor listrik. Bahkan dengan tiga bagian, motor listrik hidup lebih lama dari mesin pembakaran internal setiap hari dalam seminggu. Bagian-bagiannya adalah rotor dan dua bantalan ujung. Ini hanyalah salah satu alasan utama mengapa adopsi EV atau kendaraan penggerak listrik secara luas adalah proposisi yang menyelamatkan planet. Baru-baru ini, saya berdiskusi dengan seorang insinyur di kantor saya. Di akhir pembicaraan tentang mobil sel bahan bakar, saya mengingatkannya bahwa mobil sel bahan bakar pun menghasilkan listrik dan itulah sebabnya mobil listrik adalah jalan masa depan otomotif.

Artinya bagi Anda adalah bahwa kepemilikan motor listrik performa tinggi yang menyenangkan untuk dikendarai akan memberikan pengalaman berkendara yang rendah selama bertahun-tahun dengan biaya minimum, sebagian besar karena karakteristik yang melekat pada motor listriknya yaitu tenaga dan ekonomi.

Tujuan bab ini adalah untuk memandu Anda menuju calon motor terbaik untuk konversi motor listrik Anda hari ini, dan menyarankan jenis motor listrik terbaik untuk konversi Motor listrik Anda di masa mendatang. Untuk mencapai tujuan ini, bab ini akan mengulas dasar-dasar motor listrik dan memberi Anda persamaan yang berguna; memperkenalkan Anda pada berbagai jenis motor listrik serta kelebihan dan kekurangannya untuk motor listrik; perkenalkan motor listrik terbaik untuk konversi motor listrik Anda hari ini dan karakteristiknya; dan memperkenalkan Anda pada jenis motor listrik yang harus Anda ikuti dan selidiki dengan cermat untuk konversi motor listrik di masa mendatang.

6.1 Mengapa Motor Listrik?

Dalam Bab 1 Anda telah mempelajari bahwa motor listrik ada di mana-mana karena kesederhanaannya. Semua motor listrik menurut definisi memiliki stator tetap atau bagian stasioner, dan rotor atau bagian yang dapat digerakkan. Kesederhanaan ini adalah rahasia keandalannya, dan mengapa sangat kontras dengan mesin pembakaran

internal dengan ratusan bagian yang bergerak, motor listrik merupakan sumber penggerak yang jauh lebih unggul:

- Motor listrik pada dasarnya sangat kuat. Dengan memilih desain yang menghasilkan torsi puncak pada atau di dekat stall, Anda dapat memindahkan gunung. Hampir semua motor traksi menghasilkan torsi puncak mendekati nol rpm. Itulah sebabnya motor traksi listrik telah memberi daya pada mobil troli, kereta bawah tanah, dan lokomotif kereta api diesel-listrik kami selama bertahun-tahun. Tidak ada penantian, seperti halnya mesin pembakaran internal, saat mesin berputar hingga kisaran rpm torsi puncaknya. Terapkan arus listrik ke sana dan Anda langsung mendapatkan torsi cadangan. Jika ada kinerja motor listrik yang lemah, itu karena desain yang buruk atau pemilihan motor listrik — bukan motor listrik itu sendiri.
- Motor listrik pada dasarnya efisien. Anda dapat mengharapkan untuk mendapatkan 90 persen atau lebih energi listrik yang Anda masukkan ke dalam motor listrik darinya dalam bentuk torsi mekanis. Beberapa perangkat mekanis lain bahkan mendekati efisiensi ini.

6.2 Daya kuda (HorsePower = HP)

Karena motor listrik efisien, tenaga kuda di belakangnya dalam mobil listrik nyata dapat mengejutkan sistem pada awalnya (tidak ada permainan kata-kata). Saya baru ingat pertama kali saya mengendarai mobil listrik. Ketika saya menginjak pedal gas itu lepas landas! Tidak ada pertanyaan yang ditanyakan. Tidak ada mesin dengan suku cadang berlebihan yang menghalanginya.

Berikut adalah beberapa poin teknis yang perlu dipahami ketika mencoba menemukan motor yang tepat untuk mobil Anda.

1. Motor listrik dinilai pada titik efisiensi maksimumnya; mereka mungkin mampu 2-4 kali peringkat terus menerus mereka tetapi hanya untuk beberapa menit (akselerasi atau mendaki bukit). Mesin pembakaran internal dinilai pada tenaga kuda puncak. Misalnya, motor FB1-4001A dinilai sebagai 30 hp terus menerus pada 144V dan puncak 100 hp. Peringkat 5 menit dari motor FB1-4001A adalah 48 hp pada 144V.
2. Setiap 1.000 pon. berat kendaraan setelah konversi membutuhkan 6-8 hp. Ini adalah peringkat motor yang berkelanjutan. Jadi 3.000-lb. konversi membutuhkan motor yang dinilai sekitar 20 hp. Lebih banyak tenaga kuda diperlukan untuk kecepatan yang lebih tinggi, kendaraan yang lebih berat, dan medan yang lebih curam.
3. Tenaga kuda yang tersedia dari motor meningkat dengan tegangan; misalnya, motor FB1-4001A diberi peringkat 18 hp terus menerus pada 72V tetapi diberi peringkat 30 hp terus menerus pada 144V. Saat tegangan dinaikkan, rpm meningkat. Horsepower adalah fungsi dari rpm 3 torsi.

4. Meskipun motor listrik dinilai sebagai "kontinu", motor dapat berjalan dengan tenaga kuda yang lebih sedikit. Jika hanya 10 hp yang dibutuhkan untuk kecepatan maka motor berjalan pada beban yang dikurangi. Ini adalah fungsi dari pengontrol motor.
5. Beroperasi terus menerus di atas tenaga kuda terukur pada akhirnya akan menjadi terlalu panas dan merusak motor. Motor yang diberi nilai 150 amp dapat berjalan pada 300 amp untuk waktu yang singkat (menit), tetapi periode yang lebih lama dapat dengan mudah merusak motor. Jangan membeli motor berukuran kecil untuk kendaraan Anda untuk aplikasi Anda—itu tidak akan bertahan lama. Arus inilah yang membuat komponen menjadi terlalu panas.
6. Kecepatan jalan raya membutuhkan tenaga kuda yang lebih besar. Tenaga kuda yang dibutuhkan pada 70 mph adalah empat kali tenaga kuda yang dibutuhkan pada 35 mph. Itu berarti arus yang dibutuhkan adalah empat kali juga, yang berarti jangkauannya lebih sedikit.

Bergantung pada desain dan pilihan komponen Anda, motor listrik dalam konversi EV Anda dapat menghisap bannya dan secara rutin menawarkan jangkauan 60 mil dengan listrik senilai satu dolar. Bandingkan dengan 75 sen per mil di mobil hidrogen FC, hanya untuk "bahan bakar" saja (tentu saja, itu tidak penting, tetapi hidrogen bukanlah bahan bakar per se).

6.3 Motor Listrik DC

Motor listrik adalah perangkat mekanis yang mengubah energi listrik menjadi gerakan, dan yang selanjutnya dapat disesuaikan untuk melakukan pekerjaan yang berguna seperti menarik, mendorong, mengangkat, mengaduk, atau berosilasi. Ini adalah aplikasi ideal dari sifat dasar magnet dan listrik. Sebelum melihat motor DC dan sifat-sifatnya, mari kita tinjau beberapa hal mendasar.

6.3.1 Kemagnetan dan Kelistrikan

Magnet dan listrik adalah sisi berlawanan dari mata uang yang sama. Insinyur desain listrik dan elektronik secara teratur menggunakan empat hukum elektromagnetisme Maxwell berdasarkan penemuan Faraday dan Ampere sebelumnya dalam pekerjaan sehari-hari mereka. Mereka mungkin memberi tahu Anda, "magnetisme dan listrik saling terkait erat di alam." Faktanya, Anda tidak memiliki satu tanpa yang lain. Tetapi biasanya Anda hanya melihat satu atau yang lain kecuali jika Anda membahas motor listrik atau perangkat lain yang melibatkan keduanya.

Jika Anda meletakkan kendi air galon di tepi wastafel Anda dan membuat lubang kecil seukuran pensil di bagian bawah, air akan menyembur keluar ke wastafel.

Ketika kendi diisi ke atas dengan air, itu menyembur keluar sepanjang wastafel. Ketika hanya sedikit air yang tersisa di dalam kendi, ia akan menyembur keluar cukup dekat dengan kendi. Ini karena berat air menciptakan kekuatan yang mendorong tetesan keluar. Gaya itu analog dengan tegangan dalam rangkaian. Tegangan benar-benar disebut gaya gerak listrik. Jika Anda mengisi ulang kendi dengan jumlah air yang sama tetapi kali ini hanya memperbesar lubang, air mengalir keluar lebih cepat karena hambatan alirannya lebih kecil. Tapi itu tidak berjalan sejauh itu, karena bobot yang sama tidak menghadapi banyak hambatan. Ada aliran yang lebih baik, yang dalam hal ini dianalogikan dengan arus listrik yang lebih besar.

Anda menghubungkan bola lampu ke baterai dengan menyelesaikan sambungan kabel dari terminal positif dan negatif baterai ke bola lampu, dan bola lampu menyala. Hubungkan dua baterai secara seri untuk menggandakan tegangan, dan bohlam bersinar lebih terang. Kekuatan atau potensi air—ketinggian air dalam kendi—sesuai dengan kekuatan atau potensial atau tegangan baterai; ukuran lubang di bagian bawah kendi sesuai dengan hambatan aliran atau hambatan bola lampu dalam hal ini; dan aliran air dari kendi sesuai dengan aliran listrik atau arus. Untuk mengikat benda-benda ke dalam bidang listrik, ada persamaan matematika yang menghubungkan parameter gaya, aliran, dan hambatan ini. Persamaan listrik, umumnya dikenal sebagai Hukum Ohm, adalah

$$V = IR$$

di mana V adalah tegangan dalam volt, I adalah arus dalam ampere, dan R adalah hambatan dalam ohm. Ketika Anda menggandakan tegangan, Anda mengirim arus dua kali lebih banyak melalui kabel dan bola lampu menjadi lebih terang. Atau, jika Anda mengurangi hambatan (seperti yang dilakukan dengan memperbesar lubang) dengan tingkat air yang sama—Anda menggandakan aliran (menambah arus).

Magnet batang sederhana, yang mungkin Anda temui di kelas sains sekolah Anda, memiliki dua ujung atau kutub—utara dan selatan. Salah satu ujungnya menarik benda-benda yang dapat dimagnetisasi ke sana, biasanya benda-benda yang mengandung besi dalam beberapa bentuk, seperti serbuk besi, penjepit kertas, dll. Ketika dua magnet batang digunakan bersama-sama, kutub yang berlawanan (utara-selatan) menarik satu sama lain dan kutub yang identik (utara-utara atau selatan-selatan) saling tolak menolak.

Ringan dan sangat seimbang, ia menyelaraskan dirinya dengan medan magnet bumi, dan memberi tahu Anda arah utara. Tapi dekatkan magnet berbentuk batangan itu dan magnet itu akan berputar menjauhi kutub utara magnet bumi.

Anda dapat membuat medan magnet dengan listrik. Ambil paku besi dari kotak peralatan Anda, bungkus beberapa lilitan kawat tembaga berinsulasi di sekelilingnya, dan kaitkan ujungnya ke baterai. Paku polos diubah menjadi magnet bergaya batangan yang dapat berperilaku seperti kompas.

Jika Anda menulis persamaan magnet, akan terlihat seperti ini:

$$\text{mmf} = \phi R = \text{flux} \times \text{reluctance}$$

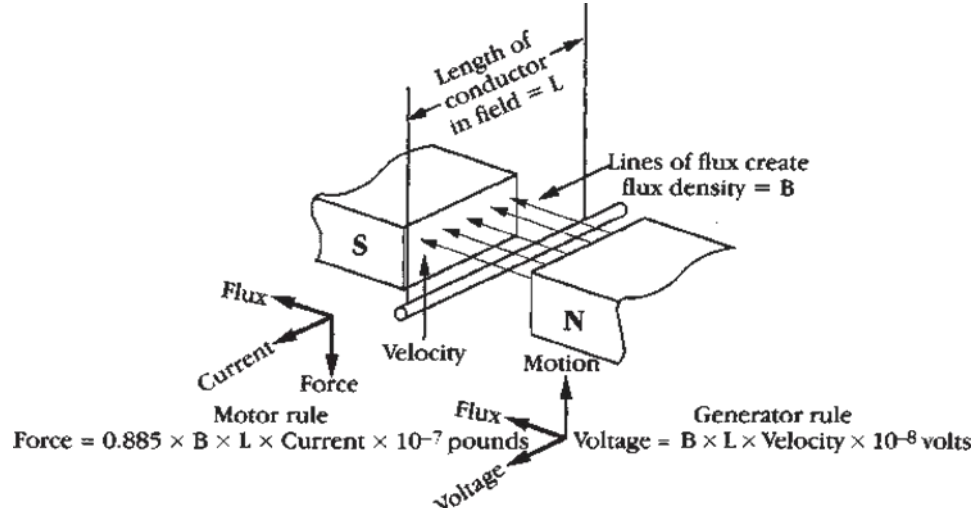
Dalam persamaan ini, umumnya dikenal sebagai Hukum Rowland, mmf adalah gaya gerak magnet, adalah fluks (aliran magnet), dan R adalah reluktansi, lawan dari aliran. Karena perancang transformator dan motor listrik bekerja dalam hal kekuatan medan magnet H, kerapatan fluks B, dan permeabilitas (u) dari media transmisi tertentu, dan karena

$$\text{mmf} = H \times l; \phi = B \times A; \text{ and } R = 1/(u \times A)$$

(di mana l adalah panjang dan A adalah luas), Hukum Rowland biasanya muncul dalam bentuk yang lebih umum (untuk rentang linier) sebagai

$$B = Hu$$

Dalam persamaan ini, B adalah kerapatan fluks atau bentuk induksi dalam garis per inci persegi, H adalah kekuatan medan magnet atau aliran magnet dalam bahan dalam ampere-putaran per inci, dan u adalah permeabilitas atau ketahanan bahan terhadap magnetisasi gaya dalam henrys per inci.



Gambar 6.1 Dasar-dasar motor DC—aturan motor dan generator.

6.3.2 Konduktor dan Medan Magnet

Jika Anda memiliki magnet berbentuk tapal kuda dengan ujung-ujungnya saling berdekatan dan Anda menggerakkan sebuah kawat melalui kutubnya membentuk sudut siku-siku terhadap fluks seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1, persamaan yang menjelaskannya adalah

$$V = Blv \times 10^{-8}$$

Dalam persamaan ini, bentuk sederhana dari Hukum Faraday, V adalah tegangan induksi dalam volt, B adalah kerapatan fluks dalam garis per inci persegi, l adalah panjang bagian konduktor yang benar-benar memotong fluks, dan v adalah kecepatan dalam inci per detik. Misalnya, jika Anda memindahkan kawat atau konduktor 1 inci pada sudut kanan ke bidang 50.000 garis per inci persegi pada 50 kaki per detik,

$$V = 50000 \times 50 \times 12 \times 10^{-8} = 0,3 \text{ Volts}$$

Hubungan ini berlaku baik medan diam dan kawat bergerak atau sebaliknya. Semakin cepat Anda memotong garis fluks, semakin besar tegangannya, tetapi Anda harus melakukannya pada sudut yang tepat. (Pada sembarang sudut selain sudut siku-siku 90° , persamaan itu menjadi $V = 5 Blv \sin \theta \times 10^{-8}$.) Apa yang baru saja Anda tunjukkan adalah Hukum Faraday atau aturan generator: Gerak konduktor pada sudut siku-siku melalui medan magnet menginduksi tegangan melintasi konduktor. Jika rangkaian ditutup, tegangan induksi akan menyebabkan arus mengalir. Cara praktis untuk mengingat hubungan adalah aturan tangan kanan: ibu jari tangan kanan Anda menunjuk ke atas ke arah gerakan konduktor, jari telunjuk Anda memanjang di sudut kanan ke arah fluks (dari utara ke kutub selatan), dan jari ketiga Anda memanjang ke arah yang tegak lurus dengan dua lainnya, menunjukkan polaritas tegangan induksi atau arah di mana arus akan mengalir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1.

Sisi lain atau akibat wajar dari aturan generator adalah aturan motor yang persamaannya adalah

$$V = 0,885 \times Bl \times I \times 10^{-8}$$

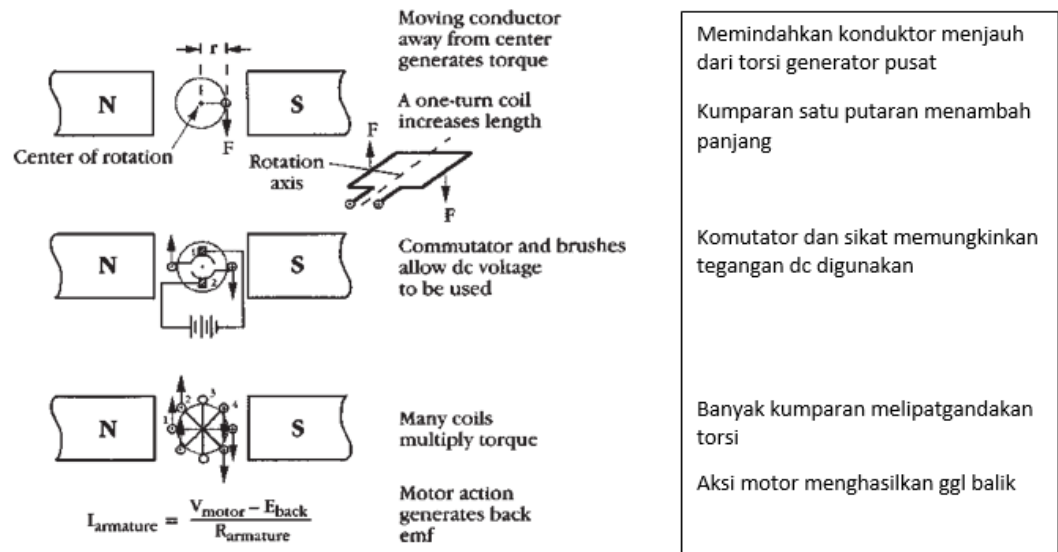
di mana F adalah gaya yang dihasilkan pada konduktor dalam pound, B adalah kerapatan fluks dalam garis per inci persegi, l adalah panjang bagian konduktor yang benar-benar memotong fluks, dan I adalah arus dalam ampere. Misalnya, jika Anda memiliki kabel 1 inci pada sudut kanan ke bidang 50.000 garis per inci persegi dengan arus 100 ampere yang mengalir melaluinya:

$$V = 0,885 \times 50000 \times 1 \times 100 \times 10^{-8} = 0.44 \text{ pounds}$$

Apa yang baru saja kita tunjukkan di sini adalah Hukum Ampere atau aturan motor: Arus yang mengalir melalui konduktor pada sudut yang tepat ke medan magnet menghasilkan gaya pada konduktor. Aturan tangan kanan sekali lagi merupakan cara praktis untuk mengingat hubungan, tetapi kali ini ibu jari tangan kanan Anda menunjuk ke arah Anda ke arah arus yang melalui konduktor, jari telunjuk Anda yang diperpanjang di sudut kanan ke arah itu menunjuk ke arah. Fluks (dari kutub utara ke selatan), dan jari ketiga Anda yang terulur menunjuk ke bawah dalam arah tegak lurus terhadap dua lainnya, menunjukkan arah gaya yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1. Sekarang Anda siap untuk berbicara serius tentang motor.

6.3.3 Motor DC Secara Umum

Jika Anda dapat menopang konduktor yang ditunjukkan pada Gambar 6.1 sehingga dapat berputar dalam medan magnet, Anda akan menciptakan kondisi yang ditunjukkan di bagian atas Gambar 6.2.



Gambar 6.2 Dasar-dasar motor DC, mendapatkan torsi dari konduktor yang bergerak.

Sekarang arus melalui konduktor (yang mengalir ke halaman — Anda melihat bagian belakang panah) akan mengerahkan gaya yang cenderung memutarinya searah jarum jam. Besarnya torsi akan diberikan oleh

$$T = Fr$$

Dimana T adalah torsi dalam kaki-pon, F adalah gaya dalam pound, dan r adalah jarak yang diukur secara tegak lurus dari arah F ke pusat rotasi dalam kaki.

Sekarang Anda memiliki desain motor. Anda perlu mengambil beberapa langkah untuk membuatnya nyata.

Pertama, Anda perlu membuatnya lebih "penuh kekuatan". Karena gaya bervariasi dengan panjang konduktor, jika Anda membuat gulungan kawat, seperti yang ditunjukkan di kanan atas Gambar 6.2, dua kali lebih panjang memotong garis fluks. Gaya yang dihasilkan pada kawat sebelah kanan adalah ke bawah dan gaya yang dihasilkan pada kawat sebelah kiri adalah ke atas; mereka akan membantu satu sama lain dalam menghasilkan putaran dan menghasilkan torsi dua kali lipat.

Untuk lebih membantu rotasi, Anda menambahkan komutator dan sikat, yang ditunjukkan di tengah Gambar 6.2. Pengaturan ini memungkinkan Anda untuk memberi daya pada motor Anda dari suplai tegangan arus searah (DC) yang konstan. Mengganti polaritas kumparan ketika mencapai posisi jam 12 atau 6 (titik fluks minimum) menjamin bahwa arus akan selalu mengalir masuk melalui sikat nomor 2 dan keluar melalui sikat nomor 1, sehingga selalu menghasilkan gaya ke atas pada konduktor kiri dan gaya ke bawah pada konduktor kanan, dan menciptakan rotasi konstan.

Untuk lebih meningkatkan kemampuan torsi motor, Anda menambahkan kumparan tambahan seperti yang ditunjukkan di bagian bawah Gambar 6.2. Pada kenyataannya, setiap kumparan dapat memiliki banyak lilitan, dan Anda dapat mengatur segmen komutator agar sesuai dengan jumlah kumparan sehingga Anda memiliki gaya pada masing-masing kumparan ini yang bekerja bersama dengan gaya pada semua kumparan lainnya.

6.3.4 Motor DC di Dunia Nyata

Sekarang saatnya Anda bertemu motor DC dunia nyata—konstruksi, definisi, dan efisiensi. Mari kita mulai dengan melihat komponennya.

-Angker

Angker adalah bagian pembawa arus utama dari motor yang biasanya berputar (motor brushless cenderung mengaburkan perbedaan ini) dan menghasilkan torsi melalui aksi aliran arus dalam kumparannya. Ini juga menahan kumparan di tempatnya, dan menyediakan jalur reluktansi rendah ke fluks. (Reluktansi didefinisikan sebagai $(H \ 3 \ 1)/4$ dan diukur dalam lilitan ampere per baris fluks.) Dinamo biasanya terdiri dari poros yang dikelilingi oleh lembaran baja lembaran berlapis yang disebut inti jangkar. Laminasi mengurangi kerugian arus eddy; baja digantikan oleh logam yang lebih efisien dalam desain yang lebih baru. Ada alur

atau slot yang sejajar dengan poros di sekitar bagian luar inti; sisi kumparan ditempatkan ke dalam slot ini. Gulungan (masing-masing dengan banyak lilitan kawat) ditempatkan sedemikian rupa sehingga satu sisi berada di bawah kutub utara dan sisi lainnya berada di bawah kutub selatan; kumparan yang berdekatan ditempatkan di slot yang berdekatan, seperti yang ditunjukkan di bagian bawah Gambar 6.2. Ujung salah satu kumparan dihubungkan ke awal kumparan berikutnya sehingga gaya total kemudian menjadi jumlah gaya yang dihasilkan pada masing-masing kumparan.

-Komutator

Komutator adalah bagian cerdas dari motor yang memungkinkan rotasi konstan dengan membalikkan arah arus dalam belitan setiap kali mencapai titik fluks minimum. Bagian ini pada dasarnya adalah sebuah saklar. Ini mengubah tegangan dari satu polaritas ke yang berlawanan. Karena rotor motor berputar dan memiliki momentum, proses switching berulang dengan sendirinya dengan cara yang telah ditentukan sebelumnya. Kutub magnet bolak-balik terus memberikan dorongan untuk mengatasi kerugian (gesekan, angin, dan pemanasan) untuk mencapai kecepatan terminal. Di bawah beban, motor berperilaku sedikit berbeda, tetapi beban menyebabkan lebih banyak arus yang ditarik.

Secara fisik, itu adalah bagian dari angker (biasanya terletak di dekat salah satu ujung poros) yang muncul sebagai cincin yang terbelah menjadi segmen-segmen yang mengelilingi poros. Segmen ini diisolasi satu sama lain dan poros.

-Tiang Lapangan

Di dunia nyata, elektromagnet (ingat paku kotak peralatan Anda dengan beberapa lilitan kawat tembaga berinsulasi yang melilitnya) biasanya digunakan sebagai pengganti magnet permanen yang Anda lihat pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2. (Motor magnet permanen, pada kenyataannya, digunakan, dan Anda akan diperkenalkan secara resmi kepada mereka dan kelebihanannya nanti di bagian ini.) Pada motor nyata, garis fluks dihasilkan oleh elektromagnet yang dibuat oleh lilitan kawat di sekelilingnya. tiang atau potongan tiang. Tiang biasanya dibangun dari potongan baja lembaran laminasi, yang mengurangi kerugian arus eddy; seperti angker, baja telah digantikan oleh logam yang lebih efisien dalam model yang lebih baru. Potongan kutub biasanya melengkung di mana mereka mengelilingi angker untuk menghasilkan medan magnet yang lebih seragam. Lilitan kawat tembaga di sekitar kutub disebut gulungan medan.

6.3.5 Motor Seri

Bagaimana gulungan ini dibuat dan dihubungkan menentukan jenis motor. Sebuah kumparan dari beberapa lilitan kawat berat yang dihubungkan secara seri dengan jangkar disebut motor seri. Sebuah kumparan dari banyak lilitan kawat halus yang dihubungkan secara paralel dengan jangkar disebut motor shunt.

-Kuas

Biasanya terdiri dari potongan grafit atau karbon berbentuk persegi panjang, sikat dipegang oleh pegas yang tegangannya dapat disesuaikan. Pemegang sikat adalah bahan berinsulasi yang secara elektrik mengisolasi sikat itu sendiri dari rangka motor. Sebuah kawat tembaga fleksibel kecil tertanam di sikat (disebut kunci) memberikan arus ke sikat. Sikat yang lebih kecil dapat dihubungkan bersama secara internal untuk mendukung aliran arus yang lebih besar.

-Casing Motor, Bingkai, atau Yoke

Apa pun yang Anda ingin menyebutnya, fungsi bagian ini tidak hanya untuk memberikan dukungan untuk elemen mekanik, tetapi juga untuk menyediakan jalur magnet bagi garis fluks untuk menyelesaikan sirkuit mereka — seperti garis fluks di sekitar magnet batang. . Dalam kasus motor, jalur magnet pergi dari kutub utara melalui celah udara, bahan magnet dinamo, dan celah udara kedua, ke kutub selatan dan kembali ke kutub utara lagi melalui kasus, bingkai, atau kuk .

Motor yang beroperasi di dunia nyata dapat mengalami kerugian dari tiga sumber:

- Mekanik—Semua torsi yang tersedia di dalam motor tidak tersedia di luar karena torsi digunakan untuk mengatasi gesekan bantalan, menggerakkan udara di dalam motor (dikenal sebagai windage), dan karena gesekan sikat.
- Listrik—Daya dikonsumsi saat arus mengalir melalui resistansi gabungan dari angker, belitan medan, dan sikat.
- Magnetik—Rugi-rugi tambahan disebabkan oleh arus eddy dan rugi-rugi histeresis pada armature dan inti kutub medan.

Singkatnya:

- Efisiensi hanyalah daya keluar dari perangkat, relatif terhadap daya yang diterapkan ke perangkat.
- Saat Anda menerapkan 100 watt, dan hanya mendapatkan pekerjaan yang setara dengan 90 watt darinya, Anda mengalami kerugian 10 watt. Itu adalah perangkat yang 90 persen efisien.
- Aturan efisiensi tersebut berlaku untuk motor, pengontrol kecepatan motor, pengisi daya baterai, dll.

6.3.6 Jenis Motor DC

Sekarang Anda telah diperkenalkan dengan motor DC secara teori dan di dunia nyata, saatnya untuk membandingkan berbagai jenis motor. Motor DC muncul dalam bentuk berikut:

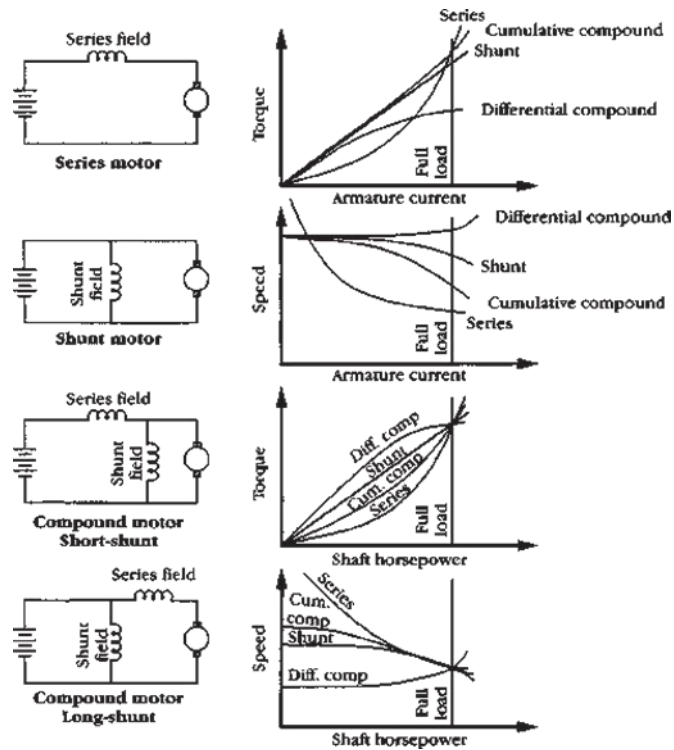
- Seri
- Shunt
- Senyawa
- Magnet permanen
- Tanpa sikat
- Universal

Tiga tipe motor terakhir hanyalah variasi dari tiga tipe pertama, dibuat dengan teknik konstruksi yang berbeda. Motor kompon merupakan gabungan dari motor seri dan motor shunt. Untuk tiga jenis motor pertama kita akan melihat rangkaian yang menunjukkan bagaimana gulungan medan rangkaian motor terhubung, dan kemudian melihat karakteristik torsi dan kecepatan versus kurva arus jangkar dan tenaga kuda poros yang menggambarkan operasinya (Gambar 6.3).

Masing-masing jenis motor akan diperiksa torsi, kecepatan, pembalikan, dan kemampuan pengereman regeneratifnya, faktor-faktor penting bagi pengguna motor listrik. Semua jenis motor akan dibandingkan pada tenaga kuda poros beban penuh, satu-satunya cara untuk membandingkan berbagai jenis motor dengan peringkat yang sama. Efisiensi sedikit lebih sulit untuk ditentukan karena juga tergantung pada resistansi eksternal dari rangkaian yang terhubung dengan motor. Jadi efisiensi harus dihitung untuk setiap kasus individu.

6.3.7 Seri Motor DC

Motor DC yang paling terkenal, dan yang muncul dalam pikiran untuk aplikasi traksi (seperti penggerak mobil listrik), adalah motor DC seri. Dinamakan demikian karena gulungan medannya dihubungkan secara seri dengan jangkar (Gambar 6.3). Karena arus yang sama harus mengalir melalui belitan medan ini seperti melalui dinamo motor itu sendiri, arus tersebut dililit dengan beberapa putaran kawat pengukur berat.



Gambar 6.3 Ringkasan jenis motor DC

-Torsi

Seperti yang ditunjukkan persamaan (5), $Torsi = K \times \Phi \times I_a$, dan arus dalam medan seri adalah I_a . I_a dapat disubstitusikan untuk dan persamaan torsi motor seri dapat ditulis sebagai

$$Torsi = K' \times I_a^2$$

Ini menunjukkan bahwa dalam motor seri, torsi bervariasi dengan kuadrat arus—fakta yang dibuktikan oleh grafik torsi aktual versus grafik arus jangkar pada Gambar 6.3. Grafik ini sebenarnya sedikit menyesatkan karena pada saat startup tidak ada counter electromotive force (EMF) untuk menghalangi aliran arus di armature motor seri, dan torsi startup bisa sangat besar; tanpa pembatasan arus, Anda dapat memulai pada nilai torsi jauh di sebelah kanan garis beban penuh untuk motor seri. Dalam penggunaan sebenarnya, reaksi jangkar dan saturasi magnetik motor seri pada arus tinggi menetapkan batas atas pada torsi dan arus, meskipun Anda mungkin lebih suka membatasi sirkuit dan komponen Anda ke nilai yang jauh lebih rendah. Torsi awal yang tinggi membuat motor seri sangat diinginkan untuk aplikasi traksi.

-Kecepatan

Seperti yang ditunjukkan persamaan berikut,

$$\text{Kecepatan} = (V_t - I_a R_a) / K\phi$$

Sekali lagi, I_a dapat disubstitusikan untuk ω , dan persamaan kecepatan motor seri dapat ditulis ulang sebagai

$$\text{Kecepatan} = (V_t - I_a (R_a + R_f)) / K\phi$$

Dimana R_a dan R_f masing-masing adalah hambatan jangkar dan medan. Ini menunjukkan bahwa kecepatan menjadi sangat besar karena arus menjadi kecil dalam motor seri, fakta yang dibuktikan dengan grafik kecepatan aktual versus arus jangkar pada Gambar 6.3. RPM tinggi tanpa beban adalah kelemahan motor seri. Anda perlu memastikan bahwa Anda selalu dalam persneling, memiliki kopling, memiliki beban terpasang, dll, karena kecenderungan motor seri adalah lari tanpa beban. Waspadai hal ini dan segera mundur jika Anda mendengar putaran motor seri terlalu cepat.

-Pelemahan Lapangan

Teknik ini merupakan cara yang menarik untuk mengontrol kecepatan motor seri. Anda menempatkan resistor eksternal secara paralel dengan belitan medan motor seri, yang pada dasarnya mengalihkan sebagian arusnya melalui resistor. Pertahankan hingga 50 persen atau kurang dari total arus (nilai resistor sama dengan atau lebih besar dari 1,5 kali hambatan medan motor). Produk sampingannya adalah peningkatan kecepatan 20 hingga 25 persen pada torsi sedang tanpa ketidakstabilan dalam pengoperasian (perburuan dalam rpm, dll.). Digunakan dalam jumlah sedang, itu seperti mendapatkan sesuatu secara gratis.

Frank G. Willey, anggota EAA, menciptakan pengontrol kecepatan motor termodulasi lebar pulsa pertama menggunakan transistor daya silikon. Dia diakui oleh IEEE pada awal 1980-an karena melakukannya.

Ditawarkan dalam bentuk kit atau dirakit dan diuji secara lengkap, Model 9 memiliki peringkat 450 amp untuk voltase paket traksi dari 24 hingga 120 volt. Saat ini, sebagian besar pengontrol motor menggunakan pendekatan ini, atau variasinya. Pelemahan medan memiliki keterbatasan, yang segera tidak ingin dihadapi oleh pengemudi, mengingat opsi lain yang lebih baik tersedia bagi mereka.

6.3.8 Membalikkan

Arus yang sama yang mengalir melalui jangkar mengalir melalui medan pada motor seri, sehingga membalikkan polaritas tegangan yang diterapkan tidak membalikkan arah motor. Untuk membalikkan arah motor, Anda harus membalikkan atau mengubah arah gulungan medan terhadap angker. Karakteristik ini juga memungkinkan untuk menjalankan motor DC seri dari AC.

6.3.9 Pengereman Regeneratif

Semua motor secara bersamaan menunjukkan aksi generator—motor menghasilkan counter EMF—seperti yang Anda baca sebelumnya di bagian ini. Kebalikannya juga berlaku—generator menghasilkan torsi balik. Pengereman regeneratif memungkinkan Anda untuk memperlambat kecepatan motor listrik Anda (dan menghemat remnya) dan mengembalikan energi ke baterainya (sehingga memperluas jangkauan yang dapat dilalui) dengan memanfaatkan motornya untuk bekerja sebagai generator setelah berjalan dengan kecepatan tinggi. Dengan kata lain, kendaraan, sekali berjalan dengan kecepatan, memiliki energi kinetik. Pengereman regeneratif memungkinkan Anda untuk secara elektronik mengganti motor dan mengubahnya menjadi generator, sehingga menangkap energi yang biasanya akan hilang (baca: hilang) sebagai panas di bantalan rem saat melambat. Motor yang melakukan pengereman, bukan bantalan rem Anda. Meskipun semua motor dapat digunakan sebagai generator, motor seri jarang digunakan sebagai generator dalam praktiknya karena sifat generatornya yang unik dan relatif tidak stabil.

6.3.10 Motor DC Shunt

Motor DC kedua yang paling terkenal adalah motor DC shunt, dinamakan demikian karena belitan medannya dihubungkan secara paralel dengan dinamo (Gambar 6.3). Karena tidak harus menangani arus jangkar motor yang tinggi, kumparan medan motor shunt biasanya dililit dengan banyak lilitan kawat pengukur halus dan memiliki resistansi yang jauh lebih tinggi daripada jangkar.

Karakteristik Torsi

Karena medan shunt terhubung langsung melintasi sumber tegangan, fluks pada motor shunt tetap relatif konstan. Torsinya secara langsung tergantung pada arus jangkar, seperti yang dijelaskan oleh persamaan torsi:

$$Torsi = K \times \Phi \times I_a$$

Hal ini menunjukkan bahwa, pada motor shunt, torsi bervariasi secara langsung dengan arus, dan hubungan garis lurus yang ditunjukkan pada Gambar 6.3 hasilnya. Meskipun awalnya tidak ada ggl lawan untuk menghalangi aliran arus

startup di angker motor shunt, hubungan linier motor shunt dengan cepat ditetapkan. Akibatnya, motor shunt tidak menghasilkan torsi startup yang hampir sama dengan motor seri. Ini berarti penurunan kinerja akselerasi bagi pemilik motor listrik bertenaga motor shunt.

-Kecepatan

Ketika beban diterapkan ke motor (tetapi di sini khusus shunt), motor akan cenderung melambat dan, pada gilirannya, mengurangi ggl lawan yang dihasilkan.

Peningkatan arus jangkar menghasilkan peningkatan torsi untuk menangani beban tambahan. Pada dasarnya, ggl lawan konstan cenderung tetap konstan pada rentang nilai arus jangkar yang lebar, dan menghasilkan kurva kecepatan tetap yang hanya sedikit menurun pada arus jangkar tinggi.

Torsi linier motor shunt dan kecepatan tetap versus karakteristik arus jangkar memiliki dua efek samping yang tidak diinginkan untuk aplikasi traksi bila dikontrol secara manual.

- Pertama, ketika beban berat (mendaki bukit, percepatan yang diperpanjang) diterapkan, motor shunt tidak melambat secara signifikan seperti halnya motor seri, dan arus berlebih yang ditarik melalui angkernya oleh persyaratan torsi tinggi terus menerus membuatnya lebih rentan terhadap kerusakan karena panas berlebih.
- Selanjutnya, berbeda dengan tikungan “lutut” pada persamaan kecepatan torsi motor seri (Gambar 5.9), kurva kecepatan torsi motor shunt hampir berbentuk garis lurus. Ini berarti lebih banyak kontrol kecepatan atau pemindahan gigi diperlukan untuk mencapai titik operasi tertentu. Oleh karena itu, motor seri digunakan di mana terdapat variasi yang luas dalam torsi dan kecepatan dan/atau beban awal yang berat.
- Selain memiliki torsi startup yang jauh lebih rendah, motor shunt dapat bekerja sebaik motor seri di motor listrik bila dikontrol secara elektronik.
- Kelemahannya adalah bahwa pengontrol motor shunt bisa lebih rumit untuk dirancang daripada pengontrol motor seri.

Pelemahan Lapangan

Anda juga dapat mencapai kecepatan motor shunt yang lebih tinggi dari nilai dengan mengurangi arus kumparan shunt Anda menempatkan resistansi kontrol eksternal secara seri dengan belitan medan motor shunt. Tapi di sini, tidak seperti daerah *rpm runaway* motor seri tanpa beban, Anda bermain dengan api, karena armature motor shunt yang dibebani memiliki inersia yang tidak memungkinkannya untuk merespon secara instan terhadap perubahan kontrol

medan. Jika Anda melakukan ini saat motor shunt Anda berakselerasi, Anda mungkin memasak motor Anda atau memiliki bagian-bagian motor di seluruh jalan raya pada saat Anda menyesuaikan resistensi kembali ke tempat Anda memulai. Hati-hati dengan pelemahan medan pada motor shunt. Sekali lagi, motor ini segera kehilangan dukungan karena kesederhanaan yang melekat pada pengaturan motor DC seri. Pemanasan tidak terlalu menjadi masalah, dan tentu saja bukan sesuatu yang perlu dikhawatirkan oleh pengemudi; motor seri lebih cocok untuk aplikasi.

Motor shunt dapat langsung beradaptasi sebagai generator shunt. Kebanyakan generator sebenarnya adalah luka shunt, atau variasi pada tema ini. Torsi linier atau hampir linier dan kecepatan versus karakteristik arus dari motor shunt bermanifestasi sebagai karakteristik tegangan versus arus yang hampir linier ketika digunakan sebagai generator. Ini juga berarti stabilitas tingkat tinggi yang membuat motor shunt berguna dan dapat beradaptasi dengan aplikasi pengereman regeneratif, baik yang dikontrol secara manual maupun elektronik.

Arus

Arus mengalir melalui medan di motor shunt dalam arah yang sama seperti yang mengalir melalui dinamo, sehingga membalikkan polaritas tegangan yang diterapkan membalikkan kedua arah arus di dinamo dan arah fluks yang dihasilkan medan, dan tidak membalikkan arah putaran motor. Untuk membalikkan arah motor, Anda harus membalikkan atau mengubah arah belitan medan shunt terhadap angker.

Pengereman Regeneratif

Motor shunt dapat langsung beradaptasi sebagai generator shunt. Kebanyakan generator sebenarnya adalah luka shunt, atau variasi pada tema ini. Torsi linier atau hampir linier dan kecepatan versus karakteristik arus dari motor shunt bermanifestasi sebagai karakteristik tegangan versus arus yang hampir linier ketika digunakan sebagai generator. Ini juga berarti stabilitas tingkat tinggi yang membuat motor shunt berguna dan dapat disesuaikan dengan aplikasi pengereman regeneratif—baik dikontrol secara manual atau elektronik.

6.3.11 Motor DC Gabungan (Compound)

Motor DC kompon merupakan gabungan dari motor DC seri dan shunt. Cara gulungannya terhubung, dan apakah mereka terhubung untuk meningkatkan (membantu) atau melawan (berlawanan) satu sama lain dalam aksi, tentukan jenisnya. Karakterisasi dasarnya berasal dari apakah arus yang mengalir ke motor

pertama kali bertemu dengan motor kompon medan-shunt-shunt kumparan medan seri atau motor kompon medan-shunt kumparan-panjang paralel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.3. Jika, dalam salah satu dari konfigurasi ini, gulungan kumparan dihubungkan untuk melawan satu sama lain dalam aksi, Anda memiliki motor kompon diferensial. Jika gulungan kumparan dihubungkan untuk membantu satu sama lain dalam aksi, Anda memiliki motor kompon kumulatif. Keindahan motor kompon adalah kemampuannya untuk menghadirkan yang terbaik dari kedua seri dan motor DC shunt kepada pengguna.

- Torsi—Torsi pada motor kompon harus mencerminkan aksi baik seri maupun kumparan medan shunt. Tergantung pada apakah Anda terhubung ke posisi diferensial atau kumulatif, torsi shunt dan torsi seri baik mengurangi angka perbedaan atau menambahkan bersama-sama. Pengaruh pengaturan hookup ini pada torsi diilustrasikan pada Gambar 6.3, di mana motor kompon diferensial dibangun lebih lambat ke nilai torsi yang lebih rendah daripada kurva shunt dan motor kompon kumulatif dibangun ke nilai torsi yang sedikit lebih tinggi daripada kurva shunt di tingkat yang sedikit lebih tinggi.
- Kecepatan—Serupa dengan torsi, aksi kecepatan pada motor kompon juga akan mencerminkan variabel ganda aksi kumparan medan seri dan shunt. Gambar 6.3 menunjukkan kurva kecepatan. Salah satu keuntungan awal konfigurasi kompon adalah bahwa kondisi runaway pada level arus medan rendah untuk motor shunt dan pada level beban ringan untuk motor seri dapat dihilangkan. Sementara konfigurasi kompon diferensial memiliki nilai yang dipertanyakan—kurvanya menunjukkan kecenderungan kecepatan tak terkendali pada nilai arus jangkar yang tinggi—motor kompon kumulatif tampaknya menawarkan keuntungan bagi operasi motor listrik. Anda dapat menyesuaikan motor kompon kumulatif dengan kebutuhan motor listrik Anda dengan memilih motor yang belitan serinya menghasilkan torsi awal yang baik dan yang belitan shuntnya menghasilkan penarikan arus yang lebih rendah dan kemampuan pengereman regeneratif setelah mencapai kecepatan. Ketika Anda melihat, Anda mungkin menemukan karakteristik ini sudah ada dalam model *off-the-shelf*.
- Pembalikan—Motor kompon shunt pendek menyerupai motor seri, sehingga membalikkan polaritas tegangan yang diterapkan biasanya tidak membalikkan arah motor. Motor kompon shunt panjang menyerupai motor shunt, jadi membalikkan kabel suplai tegangan biasanya membalikkan motor. Seperti halnya kecepatan dan torsi, motor kompon dapat disesuaikan untuk melakukan apa pun yang ingin Anda lakukan di departemen pembalik.
- Pengereman Regeneratif—Motor kompon mudah beradaptasi seperti motor shunt untuk pengereman regeneratif. Belitan serinya memberikan torsi awal

tambahan, tetapi dapat dilewati selama pengereman regeneratif, dan belitan shuntnya memungkinkan untuk memberikan karakteristik generator shunt yang lebih diinginkan. Motor kompon yang dikontrol secara elektronik atau *solid-state* dapat digunakan untuk dan dapat disesuaikan dengan aplikasi pengereman regeneratif.

6.3.12 Motor DC Magnet Permanen

Ketika Anda pertama kali diperkenalkan dengan topik motor DC, magnet permanen digunakan sebagai contoh karena kesederhanaannya. Motor magnet permanen, pada kenyataannya, semakin banyak digunakan saat ini karena teknologi baru — berbagai paduan bahan magnet Alnico, magnet ferit-keramik, magnet elemen tanah jarang, dll. — memungkinkannya dibuat lebih kecil dan lebih ringan daripada luka yang setara. motor kumparan medan dengan peringkat tenaga kuda yang sama. Magnet elemen tanah jarang melampaui kekuatan magnet Alnico secara signifikan (10–20 kali), dan telah digunakan dengan sukses besar di area lain seperti drive disk komputer, sehingga membantu menurunkan biaya produksi. (Lihat Gambar 6.4.) Sementara komutator dan sikat masih diperlukan, Anda menghemat kerumitan dan biaya fabrikasi gulungan medan, dan mendapatkan efisiensi karena tidak diperlukan arus untuk medan.

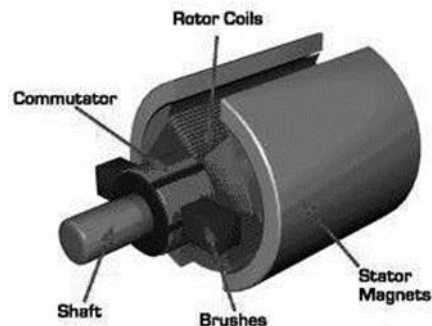
Motor magnet permanen kira-kira menyerupai motor shunt dalam karakteristik torsi, kecepatan, pembalikan, dan pengereman regeneratifnya; baik jenis motor biasanya dapat diganti dengan yang lain dalam desain sirkuit kontrol. Tetapi karena bahan modern dapat mendukung tingkat gaya magnetisasi yang lebih tinggi—faktor H dalam persamaan 2—reaksi jangkar yang jauh lebih kecil dari motor magnet permanen sangat memperluas karakteristik linier dari kurva kecepatan/torsi motor shunt konvensional ke kecepatan nol. Ini berarti bahwa motor magnet permanen memiliki torsi awal beberapa kali lipat dari motor shunt, dan karakteristik kecepatan versus bebannya lebih linier dan lebih mudah diprediksi.

6.3.13 Motor DC Tanpa Kuas

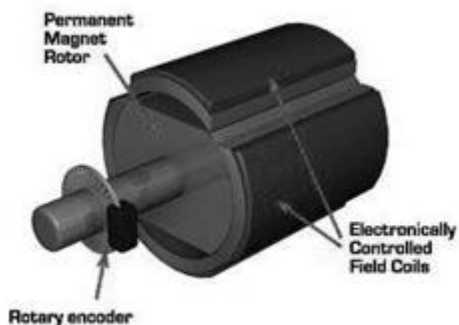
Tanpa sikat untuk diganti atau suku cadang komutator untuk dirawat, motor tanpa sikat menjanjikan untuk menjadi motor yang paling tahan lama dan bebas perawatan dari semua motor. Anda sekarang dapat menyesuaikan karakteristik motor dengan elektronik (karena elektronik sekarang mewakili setengah dari motor), dan perbedaan antara tipe motor DC kabur. Faktanya, seperti yang terlihat pada Gambar 6.5, motor tanpa sikat lebih mirip dengan motor AC (yang akan Anda temui di bagian selanjutnya) dalam konstruksi. Asumsikan bahwa motor DC

brushless menyerupai sepupu motor DC magnet permanen dalam karakteristiknya, motor shunt ditambah torsi awal yang tinggi ditambah kecepatan/torsi linier dengan kicker tambahan dengan efisiensi yang bahkan lebih tinggi karena tanpa komutator atau sikat.

Ada produsen lain dari motor DC. Mereka adalah UQM dan AVEOX. Untuk informasi lebih lanjut, silakan lihat Bab 12.



Gambar 6.4 Motor DC magnet permanen (Uji coba kendaraan Nol Emisi Australia dan www.mobil-listrik-untuk-anak-perempuan.com).

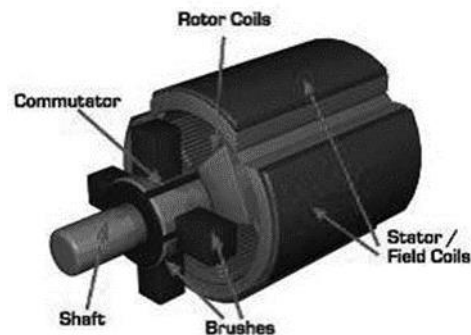


Gambar 6.5 Motor DC Brushless (Courtesy of Zero Emission Vehicles of Australia dan www.electric-cars-are-for-girls.com).

6.3.14 Motor DC Universal

Meskipun setiap motor DC dapat dioperasikan pada AC, tidak semua jenis motor DC berjalan dengan baik pada AC dan beberapa mungkin tidak dapat dihidupkan sama sekali (tetapi akan berjalan setelah dihidupkan). Jika Anda ingin menjalankan motor DC pada AC, Anda harus mendesainnya. Jenis motor DC seri biasanya dipilih sebagai titik awal untuk motor universal yang akan dijalankan pada DC atau AC. Motor DC yang dirancang untuk berjalan pada AC biasanya telah meningkatkan bidang laminasi dan inti angker untuk meminimalkan histeresis dan kerugian arus (lihat Gambar 6.6). Belitan kompensasi atau interpol tambahan dapat ditambahkan ke armature untuk lebih mengurangi masalah komutasi dengan

mengurangi fluks pada transisi segmen komutator. Secara umum, motor DC seri yang beroperasi pada AC bekerja hampir sama (torsi awal tinggi, dll.), tetapi kurang efisien pada titik tegangan tertentu.



Gambar 6.6 Motor DC dengan stator bulat (Courtesy of Zero Emission Vehicles of Australia dan www.electric-cars-are-for-girls.com).

Penerapan motor pada kendaraan tidak perlu bersaing dengan berbagai sumber tenaga. Motor universal biasanya digunakan dalam peralatan, dan tidak banyak, mengingat apa yang terjadi pada dunia selama krisis minyak pada tahun 1973 dan 1979. Efisiensi menjadi semboyan, dan paten NASA akhirnya dimasukkan ke dalam domain publik. Hal ini menghasilkan “Steker Hijau”, yang sekarang menjadi perlengkapan standar di semua peralatan berpengerak motor baru. Motor ini tidak boleh dimasukkan ke dalam motor listrik apa pun. Ada solusi yang lebih baik.

6.4 Motor Listrik AC

Setelah Anda mengenal motor listrik DC, kini saatnya Anda mengenal motor yang paling sering Anda temui dalam kehidupan sehari-hari motor listrik AC. Sebagian besar rumah, kantor, dan pabrik kita dialiri oleh arus bolak-balik (AC). Karena dapat dengan mudah diubah dari tegangan tinggi untuk transmisi menjadi tegangan rendah untuk digunakan, lebih banyak motor AC yang digunakan daripada semua jenis motor lainnya yang disatukan. Sebelum melihat motor AC dan sifat-sifatnya, mari kita lihat transformator.

6.4.1 Transformator

Dalam bentuknya yang paling sederhana dan paling dikenal, sebuah transformator terdiri dari dua kumparan tembaga yang dililitkan pada inti feromagnetik (Gambar 6.7). Primer biasanya terhubung ke sumber arus listrik bolak-balik. Sekunder biasanya terhubung ke beban. Ketika arus yang berubah diterapkan pada kumparan primer, perubahan medan magnet yang umum pada kedua kumparan menghasilkan transfer energi listrik ke kumparan kedua.

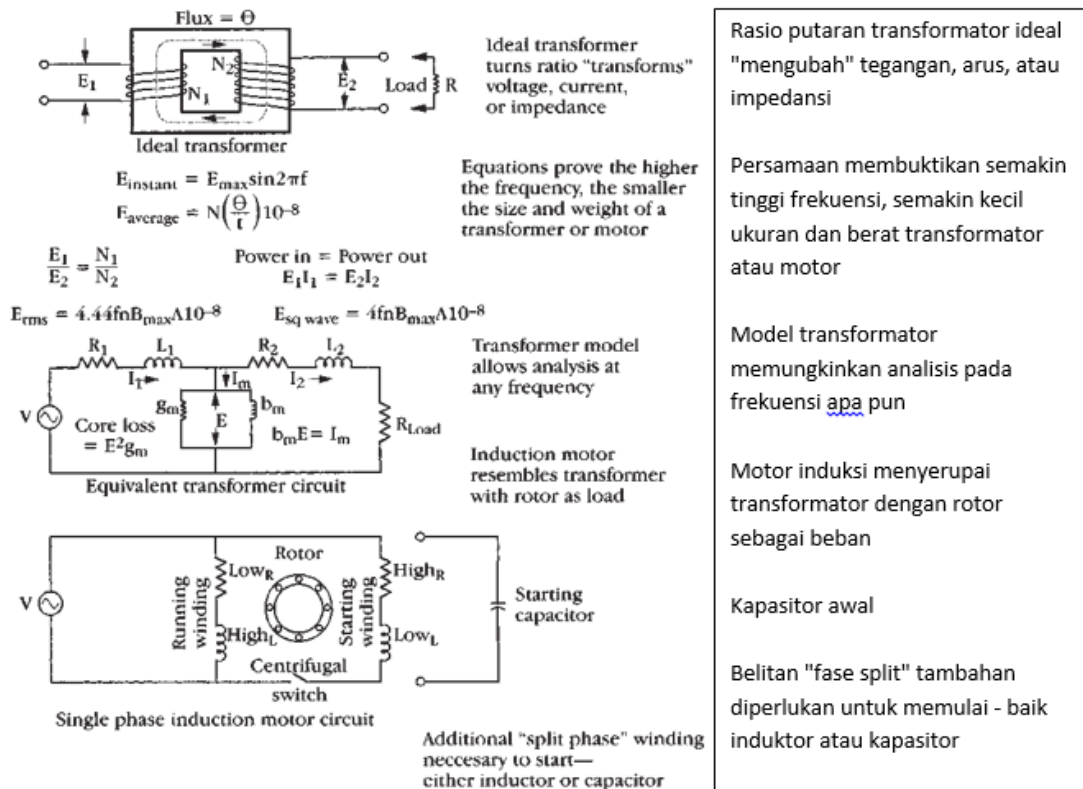
Aspek lain dari transformator yang berguna bagi Anda (disorot oleh Gambar 6.7) adalah bahwa rangkaian ekivalen transformator dapat ditarik untuk frekuensi apa pun, dan Anda dapat mempelajari apa yang sedang terjadi. Ini berguna dan langsung diterapkan pada motor induksi AC.

6.4.2 Motor Induksi AC

Motor induksi AC, dipatenkan oleh Nikola Tesla pada tahun 1888, pada dasarnya adalah transformator yang berputar. Anggap saja sebagai transformator yang beban sekundernya telah digantikan oleh bagian yang berputar. Dalam bentuk yang paling sederhana, bagian yang berputar (rotor) ini hanya membutuhkan konduktornya untuk ditahan secara kaku oleh beberapa pelat ujung konduktor yang dipasang pada poros motor. Ketika arus yang berubah diterapkan ke kumparan primer (bagian stasioner atau stator), medan magnet yang berubah menghasilkan transfer energi listrik ke rotor melalui induksi. Karena energi diterima oleh rotor melalui induksi tanpa koneksi langsung, tidak diperlukan lagi komutator atau sikat. Karena rotor itu sendiri mudah dibuat namun sangat kokoh dalam konstruksi (biasanya, batang tembaga atau konduktor yang tertanam dalam rangka besi), motor induksi jauh lebih ekonomis daripada motor DC dengan nilai yang sama dalam biaya awal dan perawatan berkelanjutan.

Sementara motor AC datang dalam berbagai bentuk dan variasi, motor induksi AC varietas yang paling banyak digunakan memegang janji terbesar bagi pemilik motor listrik karena keunggulannya yang signifikan dibandingkan motor DC.

Komponen solid-state ini telah menghasilkan motor induksi AC yang muncul dalam penggerak kecepatan variabel yang memenuhi atau melampaui kinerja motor DC tren yang pasti akan berakselerasi di masa depan karena komponen solid-state yang lebih efisien diperkenalkan dengan biaya yang semakin rendah. Bagian ini akan memeriksa motor induksi AC untuk torsi, kecepatan, pembalikan, dan kemampuan pengereman regeneratifnya faktor yang penting bagi pengguna motor listrik. Jenis motor AC lainnya yang tidak sesuai untuk penggerak motor listrik tidak akan tercakup.



Gambar 6.7 Motor AC menyerupai transformator.

6.4.3 Motor Induksi AC Satu Fasa

Ingat motor DC universal yang dibahas sebelumnya. Ketika Anda menghubungkannya ke sumber AC satu fase, Anda memiliki sedikit perbedaan dalam aksi motornya karena mengubah polaritas tegangan saluran membalikkan arus di anker dan arah fluks, dan motor mulai normal dan berlanjut. Untuk berputar ke arah yang sama. Tidak demikian pada motor induksi yang digerakkan dari sumber AC satu fasa. Saat startup Anda tidak memiliki torsi bersih (atau lebih tepatnya, torsi berlawanan yang seimbang) yang beroperasi pada konduktor rotor yang tidak bergerak. Namun, begitu Anda memutar atau memutar poros secara manual, fluks putar yang diciptakan oleh arus stator sekarang memotong melewati konduktor yang bergerak dari rotor, menciptakan tegangan di dalamnya melalui induksi, dan membangun arus di rotor yang mengikuti fluks berputar dari poros statornya.

Bagaimana Anda mengatasi masalah tersebut? Bagian bawah Gambar 6.7 menunjukkan satu kunci. Jika Anda memasukkan belitan kedua yang secara fisik tegak lurus dengan belitan stator utama, Anda menginduksikan arus rotor keluar fase dengan arus rotor utama yang cukup untuk menghidupkan motor. Desain

motor induksi fase terpisah ini adalah yang paling mungkin Anda temui pada motor kecil khas yang menggerakkan kipas, pompa, motor bengkel, dll. Untuk memaksimalkan perbedaan fase listrik antara dua belitan, resistansi belitan awal jauh lebih tinggi dan induksinya jauh lebih rendah daripada belitan berjalan. Untuk meminimalkan disipasi daya yang berlebihan dan kemungkinan kenaikan suhu setelah motor hidup dan berjalan, sakelar sentrifugal yang dipasang di poros dihubungkan secara seri dengan belitan awal yang terbuka pada sekitar tiga perempat kecepatan sinkron. Gambar 6.7 tampak seperti representasi motor shunt: karakteristik kecepatan motor induksi fase-terpisah yang lebih kecil terlihat seperti karakteristik motor shunt DC, tetapi torsi awal mereka jauh lebih besar.

Motor induksi *fase-split* yang paling umum adalah motor yang menggunakan kapasitor-start, juga ditunjukkan pada Gambar 6.7. Kapasitor secara otomatis memberikan perbedaan fasa listrik yang lebih besar daripada belitan induktif. Perbedaan fase yang lebih besar ini juga memberikan motor induksi fase terpisah kapasitor-start dengan torsi awal yang jauh lebih tinggi (biasanya tiga hingga lima kali torsi terukur). Prinsip ini ditemukan cukup awal oleh Charles Steinmetz dan yang lainnya, tetapi teknologi kapasitor harus mengejar sebelum dapat diperkenalkan secara luas pada motor produksi. Variasi desain kapasitor-start mencakup dua jenis: kapasitor start dan running terpisah; dan kapasitor permanen tanpa sakelar pemutus sentrifugal. Pendekatan dua kapasitor memberi Anda yang terbaik dari dunia awal dan dunia lari; jenis kapasitor permanen memberi Anda kontrol kecepatan yang unggul selama pengoperasian dengan mengorbankan torsi awal yang lebih rendah. Desain motor induksi fase terpisah yang umum lainnya, yang disebut kutub berbayang, sebagian besar berlaku untuk motor yang lebih kecil; Anda lebih mungkin menemukannya di jam alarm listrik Anda daripada di motor listrik Anda, jadi kami akan melewatkannya di sini.

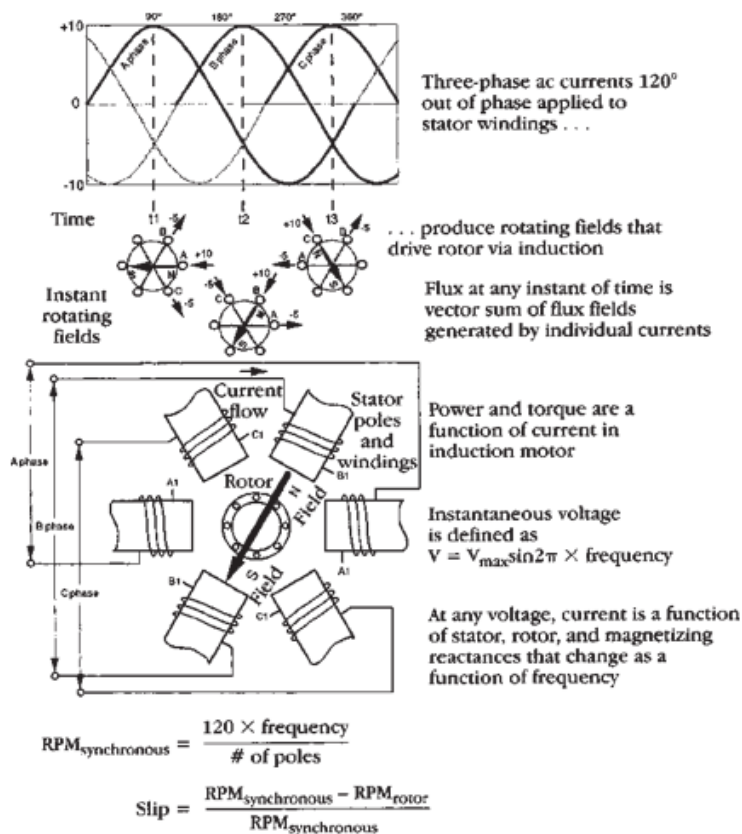
6.4.4 Motor Induksi AC Poly fasa

Polifase berarti lebih dari satu fase. AC adalah mode distribusi listrik yang berlaku. Satu fasa 208V ke netral dari trafo tiga fasa di tiang adalah bentuk yang paling umum ditemukan di rumah dan kantor Anda. Tegangan fasa yang berasal dari kutub adalah 240V. Ini tersedia secara luas di hampir setiap Kota di dunia industri. Jika satu fasa bagus, maka tiga fasa lebih baik, bukan? Yah, biasanya. Motor induksi listrik tiga fasa stasioner secara inheren dapat memulai sendiri dan sangat efisien, dan listrik tersedia dengan mudah.

AC tiga fasa yang dihubungkan ke belitan stator motor induksi AC tiga fasa menghasilkan arus yang terlihat seperti yang ditunjukkan di bagian atas Gambar 6.8, memiliki amplitudo yang sama, tetapi berbeda fasa 120 derajat satu sama lain.

Seperti pada motor DC, daya dan torsi juga merupakan fungsi arus pada motor induksi. Karena arus sama dengan tegangan dibagi dengan reaktansi motor, pada tegangan tertentu, arus adalah fungsi dari reaktansi stator, rotor, dan magnetisasi yang berubah sebagai fungsi frekuensi. Bagian atas Gambar 6.9 menunjukkan hal ini secara sekilas.

Grafik karakteristik torsi motor induksi ke slip, yang ditunjukkan pada Gambar 6.9 untuk daerah operasi motor dan generatornya, memberikan wawasan tentang operasi motor induksi. Jika motor induksi distart tanpa beban, dengan cepat akan mencapai kecepatan yang mungkin hanya sepersekian persen lebih kecil dari kecepatan sinkronnya. Ketika beban diterapkan, kecepatan berkurang, sehingga meningkatkan slip; torsi yang meningkat dihasilkan untuk memenuhi beban hingga area torsi beban penuh, dan jauh melampauinya hingga maksimum titik torsi (torsi maksimum 350° nilai torsi khas).



Arus tiga fasa 120 derajat di luar fasa diterapkan pada belitan stator...

...menghasilkan medan putar yang menggerakkan rotor melalui induksi

Fluks setiap saat adalah jumlah vektor medan fluks yang dihasilkan oleh arus individu

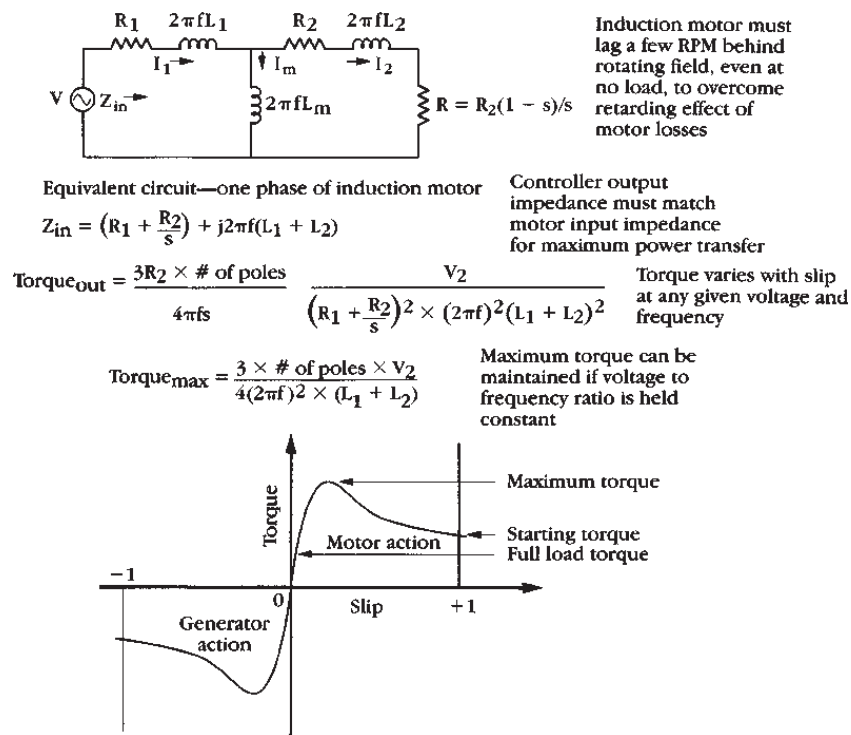
Daya dan torsi merupakan fungsi arus pada motor induksi

Tegangan sesaat didefinisikan sebagai $V = V_{\max} \sin 2\pi \times \text{frekuensi}$

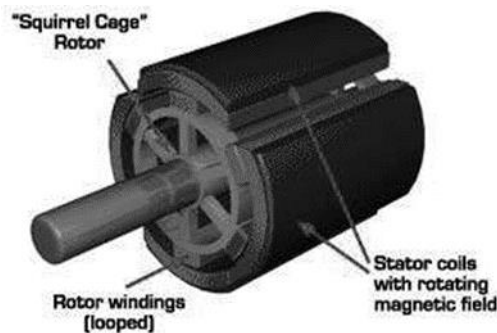
Pada tegangan apa pun, arus adalah fungsi dari reaktansi stator, rotor, dan magnetisasi yang berubah sebagai fungsi frekuensi

Gambar 6.8 Operasi motor polifase AC diringkas.

Kecepatan dan torsi relatif mudah ditangani dan ditentukan dalam motor induksi. Begitu juga pengereman mundur dan regeneratif. Jika Anda membalikkan urutan fase suplai statornya (yaitu, membalikkan salah satu belitan), medan magnet stator yang berputar dibalik, dan motor mengembangkan torsi negatif dan masuk ke tindakan generator, dengan cepat membawa motor berhenti dan membalikkan arah (lihat Gambar 6.10). Tindakan pengereman regeneratif “memompa daya kembali ke sumbernya” mudah dicapai dengan motor induksi. Berapa banyak pengereman regeneratif yang Anda terapkan menciptakan pengereman (memindahkan titik operasi motor induksi kondisi tunak ke bawah kurva torsi-slip), dan menghasilkan daya (langsung berjalan dengan slip negatif di wilayah generator, memasok daya kembali ke sumbernya).



Gambar 6.9 Karakteristik kecepatan, torsi, dan slip unik motor AC polifase versus tegangan dan frekuensi.



Gambar 6.10 Motor listrik AC (Uji Jalan Kendaraan Nol Emisi Australia).

6.4.5 Motor Induksi Wound-Rotor

Anda mungkin juga menemukan motor induksi luka-rotor dalam pencarian sumber daya motor listrik Anda. Gulungan rotor belitan dibawa keluar melalui cincin melalui sikat (analog dengan konstruksi motor DC) ke resistansi eksternal yang dirangkai seri dengan setiap belitan. Perbedaannya adalah bahwa cincin slip kontinu tanpa slot komutator. Keuntungan motor induksi rotor belitan dibandingkan motor induksi sangkar tupai adalah bahwa kontrol resistansi dapat digunakan untuk memvariasikan kecepatan motor dan karakteristik torsi. Meningkatkan resistansi menyebabkan torsi maksimum dikembangkan pada nilai yang lebih tinggi berturut-turut. Sepanjang jalan rotor belitan memiliki karakteristik awal yang lebih baik dan kontrol kecepatan yang lebih fleksibel. Apa yang Anda berikan adalah efisiensi dengan kompleksitas dan biaya yang meningkat.

6.5 Solusi Motor Listrik Terbaik Hari Ini

Jenis motor yang berbeda dalam banyak variasinya memberi Anda banyak trik dalam hal solusi, tetapi Anda harus mencari tahu mana yang akan digunakan. Jika seseorang memberi tahu Anda bahwa hanya ada satu solusi motor untuk aplikasi tertentu, tanyakan pada orang lain. Jawaban mereka yang tidak terlalu mengejutkan dan berbeda seharusnya meyakinkan Anda bahwa tidak ada solusi motor hitam-putih—hanya nuansa abu-abu. Anda mungkin dapat menemukan tiga atau empat motor yang bagus untuk kebutuhan apa pun dan Anda harus mencari dan mengajukan pertanyaan yang mengungkap solusi alternatif ini. Pada daftar solusi motor mana pun, Anda dapat memilih motor dengan harga terendah karena itu adalah kriteria terpenting Anda. Orang lain mungkin memilih motor dengan bobot paling ringan. Masih mungkin memilih motor dengan torsi startup terbaik. Pengereman regeneratif mungkin paling penting bagi orang lain, dan seterusnya. Ingat saja nuansa abu-abu. Mengikuti tema ini, solusi yang direkomendasikan di sini bukanlah solusi, itu hanya solusi yang paling berhasil dalam kasus ini. Namun, untuk konversi ekonomi, luka seri DC telah dicatat sebagai pendekatan

terbaik. Motor lain semakin sulit ditemukan dan tidak semua pengontrol di pasaran dapat menggerakkan motor tersebut. Untuk efisiensi dan untuk pengereman regeneratif (yang membutuhkan kisaran sekitar 25% dalam berkendara di kota), motor AC adalah cara terbaik.

6.5.1 Motor DC Seri Adalah Pendekatan Terbaik Saat Ini

Motor DC seri tersedia dari banyak sumber, mereka bekerja dengan baik, pengontrol sudah tersedia, adaptor untuk berbagai kendaraan mudah dibuat atau dibeli untuk mereka, dan harganya tepat. Motor DC Aseries mungkin bukan yang terbaik atau bahkan solusi terbaik saat ini, tetapi ini adalah salah satu yang tidak akan sulit diterapkan oleh sebagian besar konverter motor listrik saat ini.

6.5.2 Pemenang Hari Ini: WarP Motors

Motor WarP ImPulse 9" Baru, seperti terlihat pada Gambar 6.11, pada dasarnya mirip dengan motor lilitan seri berdiameter WarP 9", hanya saja lebih pendek. Panjangnya sama dengan motor WarP 8" tetapi dengan peringkat daya dan efisiensi yang lebih tinggi.



Gambar 6.11 Motor WarP ImPulse 9 untuk mobil penggerak roda depan.

Motor ini memiliki rumah poros ekor "pendek" dari transmisi Chevrolet Turbo 400 yang dipasang pada bel ujung penggerak. Drive end-shaft bukanlah tipe tipikal 1,125" single-keyed, melainkan 1,370", spline involute 32-gigi yang identik dengan spline poros ekor dari transmisi Turbo 400. Dengan kata lain, motor ini dirancang untuk menggantikan transmisi dan pasangan langsung ke poros penggerak!

6.5.3 FB1-4001 Terdepan

Pilihan lain, *Advance FB1-4001*, yang ditunjukkan pada Gambar 6.12, dirancang untuk mendorong motor listrik. Salah satu keuntungan besar yang tidak boleh diremehkan adalah Anda bisa mendapatkannya baru dari vendor yang memiliki

reputasi baik. Motor starter pesawat DC luka majemuk bekas untuk Rp 3.000.000 mungkin terdengar hebat, tetapi menyalakan motor listrik tidak pernah dimaksudkan untuk menjadi misi sebenarnya dalam hidup, dan seberapa banyak kegunaan yang sudah terlihat? Dengan FBI-4001 Anda mendapatkan motor yang dapat Anda kembalikan jika tidak berfungsi. Di vendor yang bereputasi baik, Anda memiliki seseorang untuk mendapatkan jawaban atas pertanyaan, data teknis, dan banyak lagi. Dealer surplus jarang dapat menawarkan kemampuan ini.

Saat saya meneliti untuk edisi buku ini, saya perhatikan bahwa kendaraan listrik yang disebut Tango dari *Commuter Cars Corporation* menggunakan FB1-4001. Ketika saya berbicara dengan Rick Woodbury, pencipta Tango dan presiden perusahaan, kami berbicara selama lebih dari satu jam tentang keadaan mobil listrik. Salah satu hal terbesar yang saya dengar darinya adalah bahwa edisi pertama buku ini membantunya menciptakan kendaraan. Mengutip, "Jika bukan karena buku ini, Tango tidak akan dibangun." Saya senang buku ini memberikan kontribusi seperti itu pada industri kendaraan listrik.

Salah satu pengendara Tango yang lebih populer adalah George Clooney, seperti yang digambarkan dengan Tango-nya pada Gambar 6.13. Semoga keterlibatannya dan aspek luar biasa dari Tango akan memungkinkan Rick untuk Membuat Lebih Banyak Kendaraan Listriknya Sendiri.

Gambar 6.14 menunjukkan kurva kinerja yang digunakan dalam menurunkan data Bab 5, kali ini ditunjukkan untuk nilai 72 hingga 120 volt. Tabel 6.1 memberi Anda data dari pengujian termal S-2 DIN dan ISO. Keuntungan lain membeli motor baru dari yang bereputasi baik dealer adalah bahwa Anda memiliki kurva dan data yang Anda butuhkan untuk membantu Anda mengoptimalkan konversi motor listrik Anda.

Ada solusi yang lebih baik. Tetapi pengereman regeneratif tidak penting untuk konversi yang kami jelaskan di Bab 10, dan sudah ada pengontrol yang cocok. Kami menginginkan kinerja di tengah jalan yang baik dengan harga yang baik, serta produk yang dapat digunakan oleh setiap konverter motor listrik potensial yang membaca buku ini dan mulai bekerja untuk pertama kalinya. Motor ini memberikan semua itu dan banyak lagi.



Gambar 6.12 Tampilan potongan motor DC seri lanjutan.

6.6 Solusi Motor Mobil Listrik Terbaik Besok

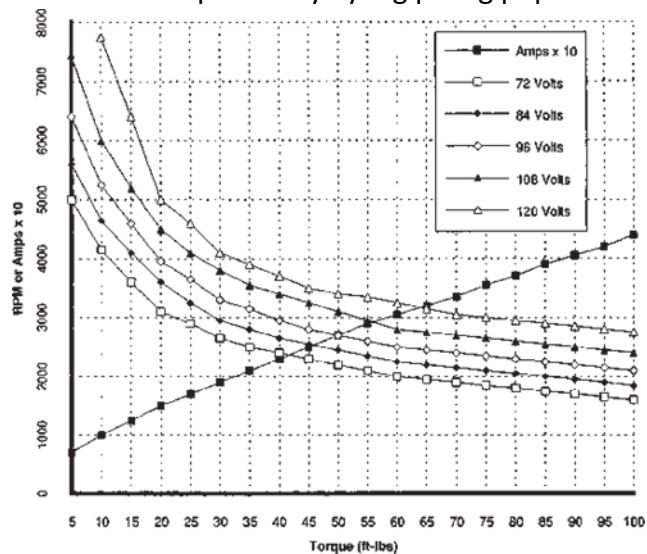
Sementara motor DC seri tidak diragukan lagi adalah yang terbaik untuk konverter motor listrik pertama kali saat ini, bias bab ini terhadap motor induksi AC bukanlah kebetulan. Peningkatan dalam teknologi pengontrol AC solid-state jelas menempatkan motor AC di jalur cepat untuk konversi motor listrik di masa depan. Motor AC secara inheren lebih efisien, lebih kasar, dan lebih murah daripada rekan DC mereka; alasan mengapa mereka tidak digunakan secara lebih luas saat ini berkaitan dengan pengontrol, seperti yang akan Anda pelajari di Bab 7.

Tabel 6.1 Data untuk Model Lanjutan Seri FBI-4001 Motor DC S-2 DIN dan Tes Termal ISO

Tegangan Uji	Waktu – Aktif	Volt	Amps	RPM	HP	Puncak HP	KW
75 volt – .03l	5 menit	63.5	380	1900	27.0		20.3
75 volt – .03l	1 jam	68.0	240	2550	19.0		14.3
75 volt – .03l	kontinu	69.0	210	2800	17.0		12.8
75 volt – .03l						42.0	
96 volt – .03l	5 menit	88.0	360	3300	35.0		26.5
96 volt – .03l	1 jam	89.0	210	3600	23.0		17.3
96 volt – .03l	kontinu	90.0	190	3900	20.0		15.0
96 volt – .03l						70	



Gambar 6.13 Tango menggunakan Advance FB1-4001; George Clooney adalah pemiliknya yang paling populer.



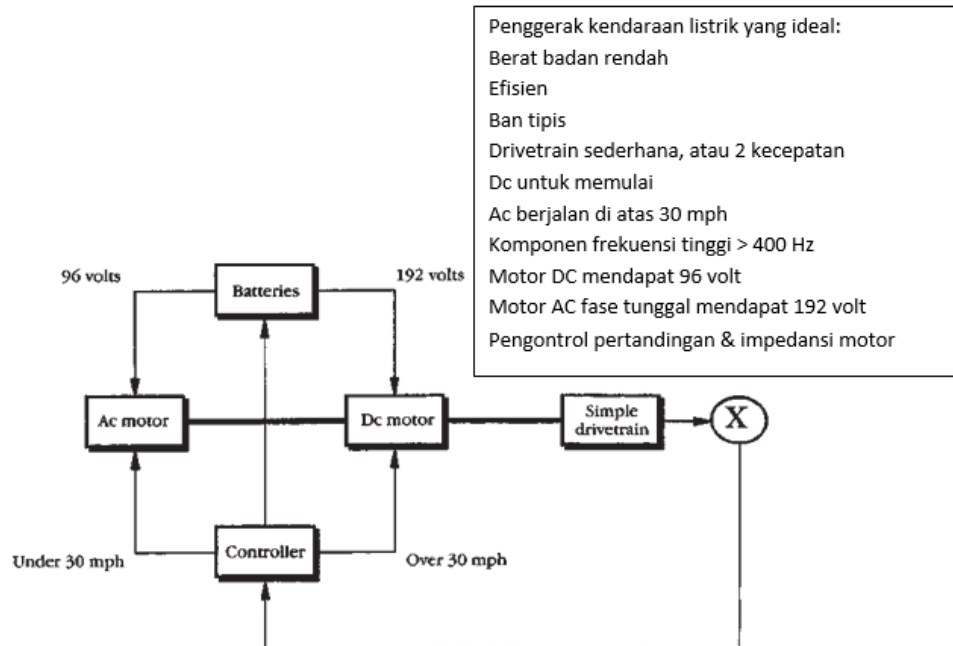
Gambar 6.14 Kecepatan dan arus motor DC seri FB1-4001 lanjutan versus kurva torsi.

Fakta-fakta mendasar ini membuat kejutan saya semakin besar ketika saya bertanya kepada Darwin Gross pertanyaan, "Apa solusi kendaraan listrik terbaik untuk masa depan?" Jawabannya singkat, *to the point*, dan menggugah pikiran. Ini membentuk dasar untuk bagian ini. Benar atau salah, jawabannya harus membuat jus kreatif Anda mengalir. Gambar 6.15 menceritakan kisahnya secara sekilas.

Drive Motor Listrik yang ideal untuk masa depan memiliki:

- Berat badan rendah
- Desain ramping
- Drivetrain sederhana (satu atau dua kecepatan)
- DC untuk memulai

- AC berjalan di atas 30 mph
- Komponen frekuensi tinggi (400 Hz)
- Motor DC yang mendapat tegangan 96 volt
- Motor AC tiga fasa yang mendapat tegangan 400 volt
- Pencocokan pengontrol dan impedansi motor Mari kita lihat lebih dekat beberapa bagian.



Gambar 6.15 Solusi motor kendaraan listrik terbaik di masa depan.

6.6.1 DC dan AC Kerja Bersama

Motor DC seri memberikan torsi awal terbaik, dan motor induksi AC adalah yang paling efisien pada kecepatan. Dengan menggunakannya bersama-sama dengan beberapa mekanisme untuk beralih bolak-balik (misalnya, sekitar 30 mph pada tingkat dengan tendangan untuk bukit), Anda mendapatkan yang terbaik dari kedua dunia. Hanya sekitar 96 volt yang diperlukan untuk menghidupkan motor DC di EV komuter utilitas rata-rata Anda. Saat motor AC mengambil alih, Anda dapat menambahkan sisa baterai untuk menyalakannya—120, 144, 192 volt, atau apa pun. Darwin menekankan, “Pilih bahan inti yang baik dengan sedikit nikel di dalamnya untuk mencapai efisiensi 96 persen, dan ingat ukuran dan berat akan turun seiring dengan meningkatnya frekuensi.”

6.6.2 Penyetelan

Sistem kelistrikan dan mekanik memberikan kinerja yang lebih baik saat diseimbangkan dan disetel. Mekanik mobil balap menyiapkan mobil mereka untuk kasus rata-rata, lalu menyetel dan menyesuaikannya untuk performa maksimal. Haruskah Anda melakukan sesuatu yang lebih sedikit dengan motor listrik Anda? Sesuaikan impedansi motor ke pengontrol untuk transfer daya maksimum, dan periksa semua hal lainnya dengan sisir bergigi halus.

6.6.3 Tetap Sederhana

Apa pengontrol paling sederhana yang dapat menerapkan pendekatan ini? Apakah Anda bahkan perlu menggunakan desain solid-state? Berapa sedikit baterai yang bisa Anda gunakan? Manakah motor terkecil yang dapat Anda gunakan? Bisakah Anda melakukan sesuatu yang inovatif dengan penempatan mereka? Bagaimana Anda bisa menyederhanakan drivetrain? Bisakah Anda melakukan sesuatu yang lebih baik dengan ban? Anda mendapatkan idenya.

6.7 Kesimpulan

Saat ini, pilihan paling ekonomis (dan memang umum) untuk kendaraan listrik adalah teknologi seri DC. Namun, ada kemungkinan bahwa semua motor komutator akan dihapus secara bertahap selama satu atau dua dekade mendatang, karena fungsi komutator dapat digantikan oleh elektronik pintar (yang semakin murah setiap hari), dan dengan keandalan dan efisiensi yang lebih baik. Saat ini, induksi AC dan DC brushless magnet permanen adalah teknologi terbaik yang tersedia, dengan efisiensi hingga 98%, pengoperasian senyap, dan hampir tidak memerlukan servis apa pun. Mereka masing-masing memiliki berbagai kelebihan dan kekurangan satu sama lain. Akan menarik untuk melihat mana yang menjadi standar baru di tahun-tahun mendatang.

BAB VII

PENGONTROL MOBIL LISTRIK

Jika mobil telah meningkat sebanyak elektronik dalam beberapa dekade terakhir, mereka akan pergi satu juta mil per jam, biaya hanya sen, dan berlangsung selama beberapa dekade.

Kontroler adalah pilar lain dari setiap kendaraan listrik. Jika satu area dapat mengambil kredit untuk minat baru pada motor listrik, pengontrolnya adalah itu. Anda dapat membeli pengontrol, mencolokkannya, dan langsung aktif dan berjalan dalam waktu singkat—sesuatu yang hanya dapat diimpikan oleh para penggemar motor listrik sebelumnya. Di masa depan, hanya akan ada pengurangan lebih lanjut dalam ukuran dan peningkatan efisiensi elektronik kontrol motor. Sementara motor mungkin hanya mendapat manfaat dari perbaikan kecil karena perubahan teknologi, motor masa depan dapat didistribusikan dan terletak di roda itu sendiri.

Keputusan pengontrol Anda mengikuti secara logis dari pilihan konversi motor listrik awal Anda: perokok ban, pamflet jarak jauh, atau komuter keliling kota. Namun, tidak seperti kebanyakan pilihan dengan motor listrik, pilihan pengontrol Anda agak sederhana, dan ditentukan oleh motor listrik yang Anda gunakan, keinginan Anda untuk membuat atau membeli, dan ukuran dompet atau dompet Anda.

Dalam bab ini Anda akan mempelajari berbagai jenis pengontrol, cara kerjanya, serta kelebihan dan kekurangannya. Kemudian Anda akan menemukan jenis pengontrol terbaik untuk dipilih untuk konversi motor listrik Anda hari ini (jenis yang digunakan dalam konversi Bab 10), dan pengontrol motor listrik yang mungkin akan Anda lihat lebih banyak di masa mendatang.

7.1 Manfaat Pengontrol Pada Mobil Listrik

Anda dapat bersantai sekarang. Persamaan yang berguna tetapi sebagian besar teoretis dari Bab 6 ada di belakang Anda. Pengontrol dapat menghasilkan lebih banyak persamaan, tetapi kami akan menyimpannya untuk insinyur yang membuatnya. Tujuannya di sini adalah untuk memberi Anda latar belakang pengontrol singkat dan memperkenalkan Anda ke pengontrol yang berfungsi untuk motor listrik Anda dengan sedikit keributan.

Kontroler pada dasarnya adalah otak atau komputer dari mobil listrik. Komputer ini "mengendalikan" atau mengatur kinerja motor listrik. Pengontrol mengintegrasikan kecepatan motor dan rentang/kecepatan baterai yang diharapkan melalui kepadatan

energinya. Koordinasi antara pengontrol dan motor dapat membantu mobil berakselerasi dari 0 hingga 60 dalam 6 hingga 7 detik (atau kurang), yang dapat menentukan jangkauan mobil dan kecepatan tertinggi. Kontroler mengontrol sistem penggerak manual atau otomatis untuk memulai dan menghentikan, maju atau mundur, mengatur kecepatan, mengatur atau membatasi torsi, dan melindungi dari kelebihan beban dan gangguan.

Sumber yang tidak tersedia yang disebutkan dalam Bab 12 adalah satu-satunya cara untuk memasukkan pengontrol ke dalam kendaraan listrik Anda. Meskipun pengontrol buatan tangan berbasis sakelar tidak masalah, keselamatan adalah kuncinya. Padahal, tidak ada fitur interlock atau revlimiting pada pengontrol buatan tangan berbasis sakelar. Bagi yang belum tahu, revlimiting sebuah teknologi di dalam controller yang mengatur kecepatan tertinggi kendaraan akan diperbolehkan melaju. Ini pada dasarnya bertindak sebagai pembatas putaran. Juga, resistor membuang energi. Pengendali dari perusahaan terkemuka yang dapat memberikan keamanan dan keandalan adalah prioritas nomor satu.

Pengontrol yang dicocokkan dengan benar ke motor akan memberikan tegangan yang tepat. Berat magnet motor dan ukuran sikatnya menentukan daya dan torsi. Anda dapat membeli pengontrol yang andal dari sejumlah sumber hari ini dengan harga yang bagus.

7.2 Jenis Pengontrol Pada Mobil Listrik

Pengontrol kecepatan motor menggunakan mikroprosesor untuk menggerakkan preamplifier dan kemudian penguat tahap daya yang mengontrol aliran daya dari baterai ke motor, dengan berbagai sensor umpan balik untuk memantau operasi sistem. Panah merah menunjukkan output termodulasi lebar pulsa, hijau menunjukkan sensor umpan balik.

7.2.1 Pengontrol Saklar

Switch controller adalah tipe tertua. Mereka telah digunakan di motor listrik selama lebih dari 100 tahun, dan masih banyak yang digunakan sampai sekarang. Pada dasarnya, mereka adalah satu set sakelar besar yang menghubungkan baterai dan motor dalam berbagai kombinasi seri/paralel untuk mendapatkan kecepatan diskrit. Misalnya, empat baterai 12 volt dapat dihubungkan untuk 12v, 24v, atau 48v untuk menghasilkan kecepatan motor yang lambat, sedang, dan cepat. Switch controller murah, sederhana, dan efisien. Kelemahan utama mereka adalah kontrol kecepatan bertahap, dan set fitur minimal. Anda biasanya tidak membeli pengontrol seperti itu; sebagai gantinya, Anda membeli suku cadang standar dan

memasanginya sendiri sesuai dengan diagram pengkabelan dasar (seperti tukang listrik memasang kabel ke ruangan baru di rumah).

7.2.2 Pengendali Solid State

Motor DC disikat dengan pengontrol *solid-state* adalah jenis yang paling umum. Kontroler ini telah digunakan selama beberapa dekade di semua jenis kendaraan listrik, dan tersedia secara luas. Pada dasarnya, mereka menggunakan sakelar solid-state (SCR, transistor, MOSFET, IGBT, dll.) Untuk menggantikan sakelar mekanis di pengontrol sakelar. MOSFET adalah singkatan dari Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. Ini lebih umum di antara pengontrol tegangan rendah karena MOSFET tegangan rendah cenderung memiliki resistansi yang sangat rendah (dan karenanya kehilangan daya). Kontroler MOSFET sangat efisien pada tingkat daya rendah, karena kehilangan daya dalam MOSFET sebanding dengan kuadrat arus. Resistansi mereka juga meningkat saat memanaskan, jadi ketika digunakan secara paralel, mereka cenderung menyeimbangkan beban secara otomatis.

IGBT adalah singkatan dari Insulated Gate Bipolar Transistor, dan agak seperti hibrida antara transistor bipolar dan transistor efek medan. IGBT memiliki penurunan tegangan konstan yang membuatnya lebih efisien daripada MOSFET pada tingkat daya tinggi, meskipun seringkali kurang efisien untuk aplikasi daya rendah. Salah satu kelemahan dengan IGBT adalah, seperti semua transistor bipolar, mereka rentan terhadap pelarian termal dan ketidakseimbangan bila digunakan secara paralel. Dengan demikian pengontrol IGBT memerlukan sistem pendingin yang baik (pendinginan cair umum terjadi) dan/atau transistor yang cocok untuk menghindari ketidakseimbangan. (Sumber: Zero Electric Vehicles Australia, www.zeva.com.au)

7.2.3 Pengontrol Elektronik

Sakelar elektronik dapat dinyalakan/dimatikan lebih cepat, dan tidak aus. Kontroler mengaktifkan/menonaktifkannya begitu cepat (ribuan kali per detik) sehingga motor mendapatkan arus rata-rata daripada puncak atau nol. Ini disebut Pulse Width Modulation (PWM). Kontroler PWM dengan harga terjangkau, tersedia dalam berbagai ukuran, dan memberikan kontrol motor stepless yang mulus.

7.2.4 Pengontrol AC

Motor AC dengan solid-state inverter adalah tipe yang paling canggih. Mereka digunakan dalam motor listrik kelas atas di mana memenuhi tujuan kinerja lebih

penting daripada biaya. Motor induksi AC atau motor AC PM (sering disebut motor DC brushless) digerakkan oleh inverter yang mengubah tegangan DC baterai menjadi tegangan variabel frekuensi variabel AC 3-fase. Mobil sport listrik baru dan perusahaan mobil baru-baru ini memproduksi EV yang semuanya menggunakan sistem penggerak AC. Seperti ICE modern, pengontrol AC ini sangat kompleks dan mahal, tetapi menawarkan fitur paling canggih (seperti cruise control dan pengereman regeneratif) dan memberikan jangkauan keseluruhan terbaik.

Pilihan Pengontrol

Keandalan tinggi, kinerja tinggi, dan biaya minimum adalah kunci keseimbangan yang menjadi faktor pilihan pengontrol motor listrik Anda.” Anda dapat memilih satu, atau mungkin dua, tetapi Anda tidak dapat memiliki ketiganya. Contoh:

- Keandalan tinggi, kinerja tinggi—berarti biaya tinggi (pengontrol Cafe Electric Zilla, tanpa gangguan, 300v 2000a, Rp 52.500.000)
- Performa tinggi, biaya minimum—berarti keandalan rendah (Logicsytems membangun kembali pengontrol Curtis, tingkat kegagalan tinggi, 156v 1000a, Rp 22.500.000)
- Keandalan tinggi, biaya rendah—berarti kinerja rendah (pengontrol SCR GE EV-1 bekas, berusia 30 tahun dan masih berfungsi, 72v 400a, Rp 15.000.000)

Jika Anda mengendarai motor listrik, Anda akan menemukan bahwa sebagian besar pengontrol elektronik tidak meniru respons pedal akselerator dari kendaraan ICE normal. Hal ini tidak diinginkan untuk melakukannya.

Respons throttle sebagian besar ICE tidak dapat diprediksi dan sangat "kental". Beberapa mobil melompat ke depan dengan sedikit sentuhan; yang lain perlahan merayap ke depan. Saat pedal didorong lebih jauh, jumlah peningkatan kecepatan untuk jumlah gerakan pedal tertentu sangat bervariasi. Pada beberapa mobil, hampir tidak ada perbedaan antara setengah *throttle* dan *full throttle*; pada orang lain itu perbedaan antara 30 mph dan 120 mph. Selalu ada penundaan yang nyata. Itu tidak meluncur, dan membiarkan pedal ke atas menghasilkan jumlah pengereman mesin yang bervariasi. Orang-orang terbiasa dengan variasi besar ini.

Respons throttle pengontrol motor listrik benar-benar berbeda. Ini sepenuhnya dapat diprediksi, berulang, dan seketika. Kebanyakan orang harus mempelajarinya kembali, tetapi merasa lebih baik daripada ICE. Kontroler motor biasanya mengontrol arus dan tegangan motor, dari 0 hingga maksimum, sebagai fungsi langsung dari posisi throttle, 0 hingga maksimum (yaitu, setengah throttle berarti setengah tegangan dan setengah arus). Motor listrik tidak perlu idle, jadi melepas

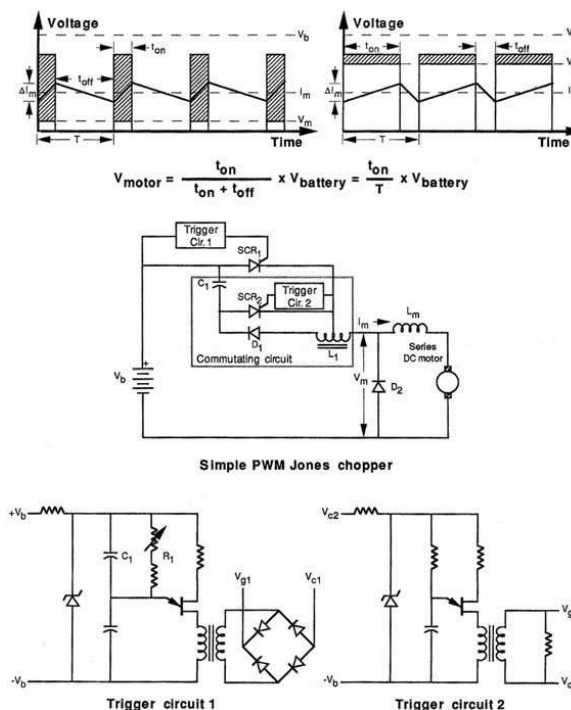
pedal berarti motor mati (tidak merayap). Menekan pedal ke titik tertentu menetapkan tegangan motor tertentu, yang berarti kecepatan tertentu. Menekan keras memberi Anda tingkat akselerasi yang konstan (karena pengontrol berada dalam batas arus; arus konstan 5 torsi konstan). Lepaskan pedal, dan pedal akan meluncur (kecuali jika Anda memiliki pengereman regeneratif, dalam hal ini Anda dapat mengonfigurasi apa yang dilakukannya).

7.2.5 Pengendali Motor DC—Pelajaran dari Saklar Jones Switch

Cara termudah untuk memvariasikan tegangan DC yang dikirim ke motor DC adalah dengan membagi komponen DC yang stabil dan tidak berubah menjadi bagian-bagian yang lebih kecil (lihat Gambar 7.1). Rata-rata jumlah atau ukuran potongan-potongan ini akan menjadi tegangan DC resultan yang "dipikirkan" diterima oleh motor. Di kiri atas Gambar 7.1, nilai tegangan yang dikirim ke motor adalah

$$V_{motor} = ((t_{on})/(t_{on} + t_{off})) \times V_{batterai} = (t_{on}/T) \times V_{batterai} = K_{dc} V_b$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa tegangan yang dikirimkan ke motor sebanding dengan jumlah waktu pulsa menyala versus total panjang periode. Seperti $t_{off} \gg t_{on}$ pada grafik sebelah kiri, tegangan rata-rata (V) yang diterima motor hanya sama dengan nilai kecil.



Gambar 7.1 Ringkasan Karakteristik Kontroler Helikopter PWM sakelar Jones.

Namun di bagian kanan grafik, $t_{on} \gg t_{off}$ dan V_m adalah nilai yang jauh lebih besar—hampir sama dengan V_b untuk tegangan baterai. Jika Anda memvariasikan t_{on} sambil menahan T (periode total) konstan, Anda memiliki prinsip modulasi lebar pulsa atau PWM. (Jika Anda memvariasikan T sambil menahan t_{on} konstan, Anda memiliki modulasi frekuensi.) Untuk rasio tetap, siklus kerja K_{dc} dapat didefinisikan (paling kanan atau persamaan di atas). PWM, atau kontrol perajang, seperti yang biasa disebut, memungkinkan Anda dengan mudah mengontrol motor DC dengan memotong tegangan secara elektronik.

Kontroler chopper motor DC *solid-state* paling awal menggunakan perangkat SCR. Ini secara teknis primitif dibandingkan dengan pengontrol solid-state saat ini, tetapi biasanya menawarkan efisiensi yang lebih besar, respons yang lebih cepat, perawatan yang lebih rendah, ukuran yang lebih kecil, dan biaya yang lebih rendah daripada set generator motor atau pendekatan tabung gas yang mereka ganti.

Sirkuit helikopter Jones yang ditunjukkan di tengah Gambar 7.1, diadaptasi dari manual GE SCR awal, adalah salah satu variasi yang paling sederhana. Sebelumnya, sirkuit PWM serupa juga dibangun dengan gaya tanpa transformator menggunakan transistor. Helikopter Jones mudah dilihat dan dianalisis, dan pelajaran dasarnya berlaku untuk semua pengontrol PWM.

Ini mungkin dilihat sebagai:

- SCR (SCR1) yang dikendalikan oleh rangkaian komutator (SCR2 dan rangkaian pemacu 2) yang mengontrol waktu t_{on}/t_{off} dan rangkaian pemacu (rangkaian pemacu 1) yang mengontrol periode T atau frekuensi.
- Dioda D2 yang terhubung melintasi terminal motor DC seri—biasanya disebut dioda free-wheeling—melakukan dua fungsi penting dalam sirkuit ini dan sirkuit lainnya di mana output pulsa bersifat induktif.
- Ini “memuluskan” arus motor I_m dan memungkinkannya untuk terus mengalir ketika SCR1 tidak konduksi (atas Gambar 7.1), dan mencegah lonjakan tegangan tinggi yang dihasilkan arus induktif, yang berpotensi merusak transistor, dari muncul di motor saat SCR1 dimatikan.
- Dioda D1 mencegah kombinasi L1–C1 dari osilasi. Selain SCR dan dioda, elemen rangkaian utama adalah autotransformer yang disadap tengah (kedua belitan memiliki jumlah belitan, induktansi, dll. yang sama), yang induktansinya diberi label L1 pada Gambar 7.1, kapasitor berlabel C1, dan motor seri gabungan dan induktansi eksternal berlabel L_m .

Frekuensi perajang dikendalikan oleh kombinasi R1-C1 (di mana R1 adalah jumlah dari resistor tetap dan variabel di cabang rangkaian itu) di rangkaian pemicu 1 yang ditunjukkan di kiri bawah Gambar 7.1. Dalam hal ini, transistor unijunction membentuk jantung dari osilator relaksasi yang periodenya dikendalikan oleh konstanta waktu RC sedemikian rupa sehingga

$$f = 1/(R_1 C_1)$$

Dimana R adalah resistansi dalam ohm dan C adalah kapasitansi dalam farad. Untuk frekuensi pemotongan 2-kHz, Anda dapat memilih

$$C_1 = 0.1 \mu F$$

$$R_1 = 1/(2 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6}) = 5 \times 10^3 = \text{Kohm}$$

Frekuensi switching dalam pengontrol modern berasal dari kristal, bukan osilator RC. Stabilitas di bawah berbagai beban dan kondisi lingkungan menjadi lebih kritis dengan meningkatnya tingkat daya. Contoh yang belum sempurna ini hanya untuk tujuan demonstrasi.

Dari sudut pandang desain, elemen penting dalam rangkaian adalah:

- Tegangan baterai V_b
- Arus motor maksimum I_m yang akan diubah
- Waktu mematikan SCR1
- Peringkat tegangan SCR1
- Nilai untuk C_1 , L_1
- Nilai L_m untuk meminimalkan arus riak di armature motor DIm.

Motorola masih memiliki produk ini, yang sekarang dibuat oleh ON Semiconductor (www.onsemi.com/pub/Collateral/MC33033-F.PDF).

Ini adalah dasar-dasarnya. Anda memiliki solusi yang sangat modular, sangat unggul untuk helikopter Jones, dan Anda bahkan tidak terengah-engah. Saat komponen yang lebih baru diperkenalkan, Anda dapat memanfaatkannya hanya dengan mencolokkannya ke drive atau power stage. Anda dapat dengan mudah mengubah frekuensi atau bahkan sirkuit kontrol kecepatan motor jika lebih sesuai dengan tujuan Anda.

Adapun opsi, pada Gambar 7.2 ada dua kotak sirkuit tambahan:

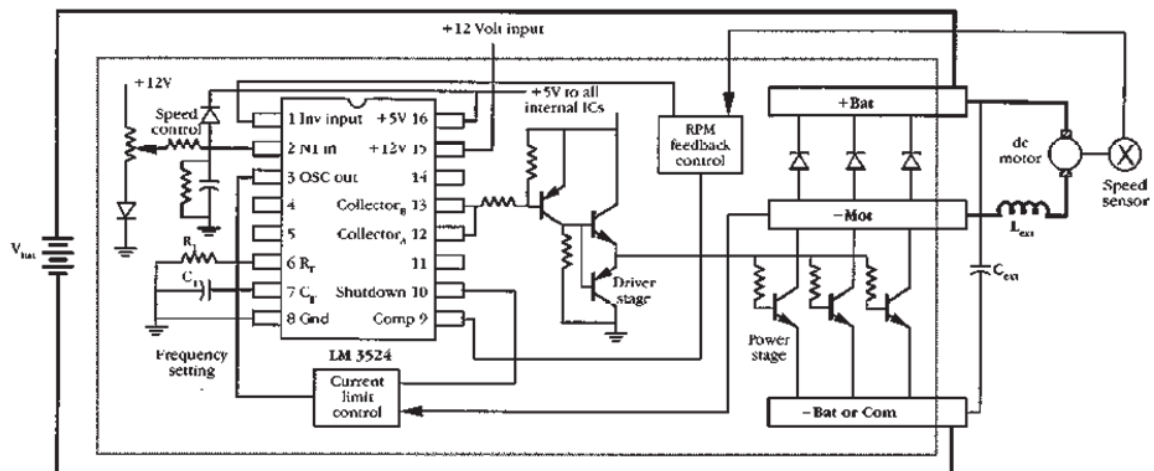
- Kontrol batas saat ini
- Kontrol umpan balik RPM

Kontrol batas arus memonitor arus jangkar motor 1m dan memberikan sinyal kembali ke input perintah shutdown pada chip PWM jika melampaui tingkat yang telah ditetapkan.

Sirkuit helikopter Jones adalah pengontrol kendaraan listrik awal yang populer, meskipun itu adalah sirkuit yang tidak lengkap. Seperti sirkuit ekuivalen vintage, itu murah dan mudah dibuat (dengan komponen yang relatif sedikit).

Namun, kerugiannya hampir lebih besar daripada membeli pengontrol yang tersedia. Mereka relatif tidak canggih. Jones Chopper bahkan berpotensi berbahaya bagi motor DC seri Anda karena tidak memiliki fitur penginderaan atau pembatas arus berlebih; dengan kata lain, tidak ada mekanisme recourse atau shutdown jika salah satu atau kedua SCR Anda mengalami masalah pergantian, atau komponen diskrit lainnya di sirkuit gagal total atau menyimpang dari toleransi dengan suhu dan usia. Sekarang mari kita beralih ke solusi yang lebih modern, dan menjawab pertanyaan tersirat tentang apa yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja sirkuit PWM.

Dengan kata lain, dapatkah Anda membuat pengontrol sendiri? Benar. Tetapi pengontrol yang siap pakai membuat Anda siap dan berjalan dengan cepat, dan menempatkan konversi motor listrik Anda di jalan dengan sedikit keributan. Itu sebabnya Anda juga akan menemukan sejumlah toko konversi profesional yang menggunakannya juga.



Gambar 7.2 Desain pengontrol nyata menggunakan LM3524.

7.2.6 Pengendali Motor DC Curtis PWM Umum Dijual

Anda dapat melakukan sesuatu hari ini yang hanya dapat diimpikan oleh konverter motor listrik satu dekade lalu—angkat telepon dan pesan sendiri pengontrol motor DC baru dari salah satu dari sejumlah sumber. Anda dapat memilikinya di tangan Anda beberapa hari kemudian, memasangnya, menghubungkan kabel listrik motor listrik Anda dan kontrol throttle ke sana, dan berdiri dan berjalan dengan hampir 99% kemungkinan semuanya berfungsi pertama kali.

Seperti motor DC seri, pengontrol DC saat ini tersedia dari banyak sumber, berfungsi dengan baik, kebanyakan dari varietas PWM, mudah dipasang di kendaraan yang berbeda, dan harganya tepat. Pengontrol motor DC PWM yang modern dan siap pakai bukanlah yang terbaik, tetapi cukup dekat dengan solusi terbaik saat ini. Lebih penting lagi, ini adalah salah satu yang sebagian besar konverter motor listrik tidak akan mengalami kesulitan dalam mengimplementasikannya hari ini. Setelah Anda melakukan konversi pertama Anda, jadilah jenius yang diakui di lingkungan Anda; setelah Anda tahu apa yang benar-benar Anda sukai dan tidak sukai, Anda bisa menjadi mewah dan eksotis.

Kontroler DC PWM yang direkomendasikan di sini adalah dari Curtis PMC, sebuah divisi dari Curtis Instruments, Inc. dari Mt. Kisco, New York. Seperti halnya motor, jangan membaca apa pun tentang penampilannya di sini. Curtis hanyalah salah satu dari sejumlah besar produsen pengontrol dari daftar di Bab 12, dan model pengontrol yang direkomendasikan hanya satu dari jumlah yang mereka produksi.

Pengontrol motor DC model 1221B-7401 Curtis PMC, yang ditunjukkan pada Gambar 7.3, sudah sangat Anda kenal. Fitur-fiturnya meliputi:

- Pengontrol tipe PWM
- Teknologi berbasis MOSFET
- Berjalan pada frekuensi switching konstan 15 kHz
- Memerlukan penggunaan potensiometer throttle 5-kilohm eksternal
- Pembatasan arus motor otomatis
- Pengurangan termal pada 75 hingga 95° C
- Penguncian pedal tinggi (mencegah startup yang tidak disengaja pada kecepatan penuh)
- Pengereman steker tugas terputus-putus
- Perlindungan tegangan lebih dan kurang tegangan
- Penyesuaian yang dapat diakses pengguna untuk batas arus motor, batas arus pengereman steker, dan akselerasi
- Dilengkapi dengan kotak pendingin tahan air



Gambar 7.3 Kontroler motor DC Curtis PMC 1221B.

Kontroler ini juga cocok dalam karakteristik dengan motor DC seri FBI4001 model Advance, terutama di area impedansi (Anda membaca tentang pentingnya ini untuk transfer daya puncak). Jika karakteristik pengontrol Curtis PMC DC terdengar familier, itu karena mereka menggunakan teknologi IC PWM yang telah Anda baca di seluruh bab ini, dan membawa semua manfaat ini kepada Anda dengan fitur tambahan dalam paket yang kokoh, sudah dirakit, dan dijamin berfungsi. dengan harga yang bagus. Komentar vendor bereputasi yang sama dari Bab 6 juga berlaku di sini.

Instalasi dan hookup sangat mudah. Jika Anda melihat lebih dekat pada terminal pengontrol, Anda akan melihat tanda M-, B-, B+ dan A2 muncul (tercantum searah jarum jam dari kiri bawah saat menghadap terminal). Anda sudah tahu bahwa tiga yang pertama sesuai dengan Tanda -Mot, -Bat, dan +Bat pada palang terminal pada Gambar 7.2. Penandaan A2 berarti Armature 2, ujung berlawanan dari armatur dari belitan Armature 1 yang biasanya terhubung ke +Bat, atau dalam hal ini terminal B+. Hal lain yang mungkin ingin Anda ketahui tercakup dalam manual Curtis PMC yang menyertai pengontrol.

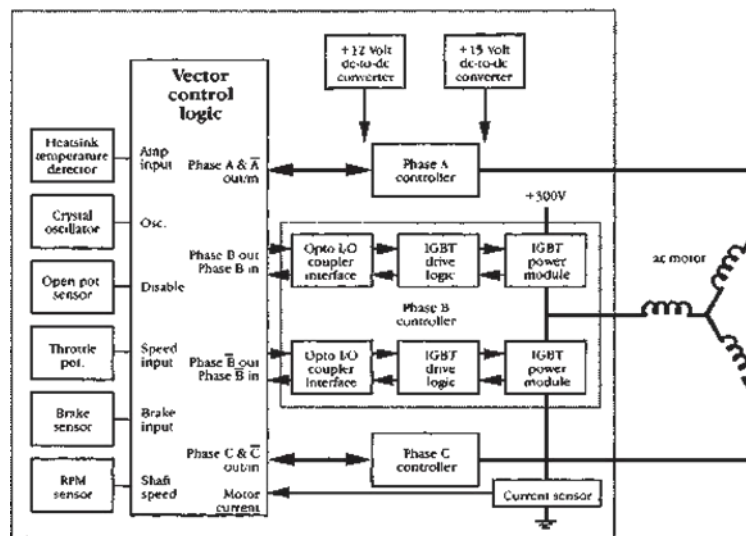
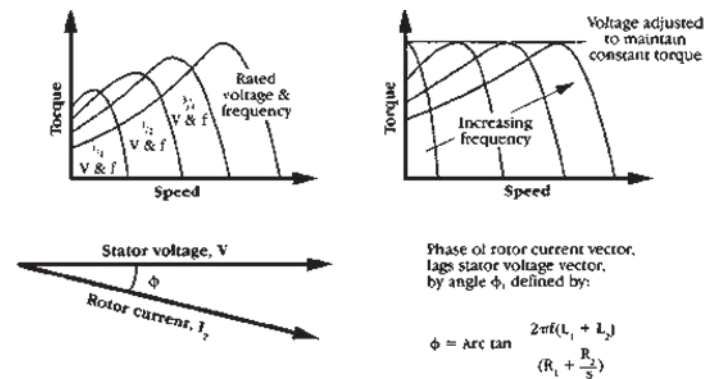
7.2.7 Pengontrol AC

AC sangat memiliki manfaat yang menjadikannya pemenang, terlepas dari komplikasi yang terlibat. Secara umum, pengontrol motor AC membutuhkan lebih banyak perangkat perlindungan untuk mengisolasi terhadap kebisingan, namun motor DC menghasilkan lebih banyak kebisingan daripada AC!

Bab 6 menunjukkan bahwa hubungan kecepatan-torsi motor induksi AC tiga fasa diatur oleh amplitudo dan frekuensi tegangan yang diterapkan pada belitan statornya (bagian kiri atas Gambar 7.4 menggambarkan hubungan ini). Cara

terbaik untuk mengubah kecepatan motor induksi AC adalah dengan mengubah frekuensi tegangan statornya. Seperti yang Anda lihat pada Gambar 7-4, perubahan frekuensi menghasilkan perubahan langsung dalam kecepatan, dan jika Anda mengubah frekuensi sebanding dengan tegangan (keduanya pada , , , dll.), Anda mendapatkan kecepatan kurva -torsi ditampilkan.

Mengetahui rasio tegangan dan frekuensi yang ingin Anda pertahankan memungkinkan Anda menghitung hubungan tegangan, arus, dan torsi keluaran untuk setiap nilai tegangan dan frekuensi masukan menggunakan matematika vektor dan tabel pencarian. Dalam istilah yang lebih sederhana, jika Anda memasukkan nilai kecepatan dan torsi yang Anda inginkan ke semacam "kotak pintar", itu dapat memberikan tegangan dan frekuensi yang diperlukan untuk menghasilkan sinyal kontrol motor yang tepat.



Gambar 7.4 Tujuan perancangan pengontrol AC dan diagram blok.

Sayangnya, karena sebagian besar nama kami bukan Tesla atau Steinmetz, semua kerumitan tambahan ini berarti lebih banyak malam tanpa tidur di garasi bahkan untuk pembuat yang paling antusias sekalipun, dan merupakan alasan sebenarnya mengapa motor induksi AC tiga fase— meskipun keuntungannya sangat besar— mungkin tidak akan mencapai konverter motor listrik do-it-yourself. Sementara itu, mari kita lihat solusi terbaik untuk proyek konversi motor listrik Anda hari ini.

7.3 Solusi Pengontrol Terbaik Hari Ini

Jika sebelumnya Anda telah membaca Bab 6 tentang motor, Anda pasti sudah tahu bahwa buku ini merekomendasikan motor DC seri sebagai solusi motor terbaik untuk konverter motor listrik saat ini. Ini sangat menyederhanakan pilihan pengontrol motor— kita hanya perlu memilih dari yang ada di alam semesta motor DC. Tetapi masih ada banyak vendor dan model pengontrol DC yang dapat dipilih, dan Anda harus mencari tahu mana yang akan digunakan. Kata-kata nasihat yang sama berlaku di area pengontrol seperti di area motor: Jika seseorang memberi tahu Anda bahwa hanya ada satu solusi pengontrol untuk aplikasi tertentu, tanyakan kepada orang lain. Seperti motor, Anda mungkin dapat menemukan tiga atau empat pengontrol yang baik untuk aplikasi apa pun karena hanya ada solusi pengontrol warna abu-abu. Dan, seperti halnya motor yang direkomendasikan, pengontrol yang direkomendasikan di sini bukanlah solusi, ini hanya solusi yang bekerja paling baik dalam kasus ini.

Sementara motor DC seri dan pengontrol PWM tidak diragukan lagi adalah yang terbaik untuk konverter motor listrik pertama kali saat ini, bias buku ini adalah terhadap pengontrol dan motor AC. Namun, salah satu teknologi motor listrik terbaik saat ini adalah pengontrol DC. Di satu sisi, motor induksi AC secara inheren lebih efisien, lebih kasar, dan lebih murah daripada rekan DC mereka. Ini berarti lebih banyak jarak mengemudi dari satu set baterai tertentu, dan kemungkinan kegagalan yang lebih kecil dan kemungkinan degradasi yang anggun ketika terjadi, tetapi tidak sedikit biaya! Paketnya tidak murah dan motornya sendiri juga tidak murah. Manfaat ini ada harganya. Itu sebabnya hampir setiap motor listrik komersial yang baru dirancang saat ini menggunakan satu atau lebih motor induksi AC atau sepupunya yang terkait erat, motor DC brushless.

Tidak ada mobil listrik baru yang menggunakan penggerak DC. Namun, beberapa konversi yang lebih besar di luar sana menggunakan pengontrol DC. DC murah dan sangat cocok untuk konversi anggaran. Sekali lagi, untuk konversi yang lebih murah, motor DC bekerja.

Apa yang ada di lab hari ini akan tersedia untuk Anda dalam waktu yang tidak terlalu lama dan, di luar itu, peningkatan berkelanjutan dalam teknologi pengontrol AC solid-state dapat menempatkan motor AC di setiap konversi motor listrik di masa depan. Mari kita lihat perkembangan di dua bidang—sistem dan komponen—yang secara virtual menjamin hasil ini.

7.3.1 Zilla *Controller* (Salah Satu Controller DC Terbaik untuk Konversi)

Kontroler Zilla (Zilla), yang ditunjukkan pada Gambar 7.5, sejauh ini merupakan salah satu pengontrol motor paling populer dan kuat yang tersedia untuk kendaraan listrik. Zilla memiliki kepadatan daya yang sangat tinggi. Menurut spesialis konversi dan orang-orang di komunitas motor listrik saat ini, Zilla diperingkat sebagai salah satu pengontrol terbaik di pasar. Kontroler ini dapat membuat motor listrik Anda memiliki pickup dan torsi paling menakutkan yang tidak ada duanya di pasaran (atau bahkan di blok Anda).

Kami menyukai Zilla yang peduli tentang keselamatan dalam literatur mereka karena ini menunjukkan bahwa pengontrol yang terjangkau, efisien, dan siap pakai masih bisa aman. Dari pemantauan yang cermat bahwa pengontrol menaikkan tegangan, berkomunikasi dengan benar, dan memeriksa integritas tahap keluaran sebelum melibatkan kontraktor utama, hingga mikroprosesor ganda yang memeriksa silang dan memiliki cara independen untuk mematikan sistem, tidak ada yang lain Kontroler motor listrik DC yang mendekati tingkat keamanan ini.

Tidak mengherankan bahwa semua kendaraan listrik tercepat di dunia menggunakan pengontrol Zilla, tetapi fitur keselamatan memungkinkan mereka juga unggul dalam aplikasi jalanan. Z1K khususnya telah menjadi sangat populer untuk konversi jalanan karena set fitur unggulannya dan harganya yang murah. Tabel 7.1 menunjukkan spesifikasi pengontrol populer ini.

-Model Zilla

Zilla hadir dalam dua peringkat arus dan hingga tiga peringkat tegangan:



Gambar 7.5 Zilla Controller Model Z2K-HV (Courtesy of Café Electric, LLC).

- Z1K-LV adalah unit dengan biaya terendah. Meskipun mengatur hingga 1.000 amp arus motor untuk berjalan pada kemasan baterai timbal-asam dari 72 hingga 156 volt, unit ini lebih dari dua kali lebih kuat dari jenis pengontrol umum untuk sebagian besar konversi mobil "normal". Karena Café Electric ingin orang mengubah mobil agar memiliki pilihan yang terjangkau, mereka menggunakan "penjualan pengontrol tegangan tinggi untuk mensubsidi sebagian produksi unit Z1K-LV." Ini membuat jumlah unit ini tertunda karena suatu alasan.
- Z1K-HV dapat mengatur arus motor hingga 1.000 amp dan berjalan pada baterai asam timbal dengan nominal 72 hingga 300 volt. Unit ini pada mobil biasa dengan transmisi yang dapat dipindahkan dan baterai yang kuat setidaknya 200 volt akan menghasilkan motor listrik yang sangat cepat. Unit-unit ini mendapat prioritas dalam produksi dan akan dibangun lebih cepat daripada unit Z1K-LV. Jika Anda terburu-buru untuk mendapatkan pengontrol, Anda dapat mempertimbangkan salah satunya bahkan jika Anda menjalankan mobil bertegangan lebih rendah.
- Z2K adalah unit untuk mereka yang mencari daya paling besar yang tersedia. Ini mengatur hingga 2.000 amp arus motor saat menjalankan paket baterai asam timbal 72 hingga 300 volt nominal (348V untuk model EHV). Model ini digunakan di semua motor listrik tercepat di dunia. Tidak ada yang salah dengan menjalankan Z2K di mobil jalanan, dan banyak orang melakukannya, tetapi pastikan untuk menolaknya terlebih dahulu atau Anda hanya akan merusak bagian lain dari mobil!
- Ada juga model Z1K dan Z2K HV, yang dapat dipesan sebagai model EHV. Ini memberikan peringkat tegangan input nominal 348 volt bagi mereka yang benar-benar ingin mendorong batas kewarasan di motor listrik mereka.

Tabel 7.1 Spesifikasi Zilla

Rentang tegangan input nominal maksimum untuk baterai Lead-Acid: 72 hingga 348 volt
Rentang tegangan input muatan penuh maksimum absolut: 36 hingga 400 volts*
Sewa motor maksimum pada suhu pendingin 50 °C: 2000 Amps untuk Z2K, 1000 Amps untuk Z1K
Baterai Maksimum y Sewa saat ini pada 200V: 1900 Amps untuk Z2K, 950 Amps untuk Z1K
Baterai Maksimum y Sewa saat ini pada 300V: 1770 Amps untuk Z2K, 885 Amps untuk Z1K
Baterai Maksimum y Sewa saat ini pada 400V: 1600 Amps untuk Z2K, 800 Amps untuk Z1K
Sewa motor terus menerus @ 50 °C suhu pendingin dan Siklus Kerja 100%: lebih dari 600 Amps untuk Z2K, 300 Amps untuk Z1K
Daya Puncak: 640.000 W att untuk Z2K, 320.000 W att untuk Z1K
Frekuensi PWM 15,7 kHz
Perangkat daya IGBT
Penurunan Tegangan: 1,9 volt pada sewa arus maksimum.
<i>* Saat ini kami menyarankan tidak melebihi 375 volt pada model EHV; kami berharap dapat mengembalikannya ke 400 volt dengan pengujian lebih lanjut.</i>

Kontroler Zilla ini sangat kuat sehingga baterai mengalami kesulitan memasok arus tinggi dari pengontrol ini, dan motor juga dapat rusak olehnya. Itulah mengapa ada baiknya memiliki insinyur yang tepat untuk membantu Anda dengan rumus yang diperlukan untuk menghitung batas tegangan yang tepat. Meskipun buku ini adalah sumber yang bagus, pastikan untuk menetapkan batas saat ini ke nilai yang wajar untuk pengaturan Anda sebelum pengujian.

Dengan baterai berkemampuan tinggi baru yang tersedia saat ini seperti sel lithium ion kelas otomotif 32-seri dari Sistem A123, lebih padat energi dan mampu memberikan kecepatan dan jangkauan. Gabungkan A123 dan pengontrol Zilla dan Anda akan mendapatkan performa penuh dalam hidup Anda. (Sumber: www.A123Systems.com).

7.3.2 ZAPI

ZAPI (www.zapiweb.com/main.htm atau www.zapiinc.com) memiliki keluarga pengontrol seri yang dirancang untuk bekerja dengan motor traksi DC standar. Berbasis mikroprosesor, pengontrol ini menggunakan teknologi MOSFET solid-state terbaru termasuk operasi frekuensi tinggi, logika mikroprosesor, penyesuaian digital, diagnostik, dan penyimpanan kode kesalahan. Pengontrol ini sangat mirip dengan pengontrol Curtis tetapi dengan lebih banyak fitur, opsi pemrograman, dan pengereman regeneratif. Saya pribadi menemukan pengontrol

ini sangat andal. Untuk pengontrolnya, alat berbasis mikroprosesor genggam digunakan untuk penyesuaian, pengujian, dan diagnosis sistem kontrol ZAPI. Fitur penguji menyediakan tampilan visual dari parameter operasi kritis seperti tegangan baterai, tegangan motor, arus motor, suhu pengontrol, tegangan akselerator, dan jam operasi.

Ada juga perusahaan bernama Metric Mind Engineering, yang memiliki motor tiga fase sinkron dan induksi AC berpendingin cairan canggih untuk motor listrik. Beberapa dari motor ini memiliki daya maksimum 150 kW, berjalan di atas 400V, dan memiliki rpm 10.000. Perusahaan yang sama ini memiliki pengontrol motor yang dapat mengeluarkan daya maksimum 212 kW.

7.4 Pengendali Mobil Listrik Menghilangkan Semua Mitos

Spesialis konversi kendaraan listrik saat ini sedang membuat kendaraan listrik terbesar di pasar. Masing-masing adalah tantangan baru, dimensi baru, tetapi kenyataannya adalah bahwa dari perusahaan konversi yang lebih kecil seperti *GrassRoots Electric Vehicle* atau *Left Coast Electric* hingga perusahaan yang lebih besar seperti AC Propulsion dan Tesla, mereka menunjukkan kepada kita bahwa hari ini kita dapat memiliki apa yang kita inginkan dalam mobil listrik. Ini menggerakkan seluruh pasar ke depan menuju mobil yang lebih cepat, lebih efisien, dan lebih bertenaga. Berikut adalah dua perusahaan yang mengatakan itu semua.

7.4.1 Perusahaan Tenaga Penggerak AC jadi Penyelamat Hari ini

Sementara yang lain hanya bermimpi atau membicarakannya, AC Propulsion Inc. telah melakukannya— merancang motor dan pengontrol induksi AC terintegrasi yang telah dipasang ke berbagai prototipe motor listrik. Bahkan, Road and Track edisi Oktober 1992 dengan gambar Honda CRX AC Propulsion sedang merokok bannya telah menjadi barang koleksi di kalangan pecinta motor listrik. Alumnus Cal Tech dari AC Propulsion, Alan Cocconi (dari *general motors* prototipe sistem propulsi AC Impact ketenaran) dan Wally Rippel (dari Bab 3 Great Electric Vehicle Race of 1968 ketenaran) baru saja memiliki ide yang lebih baik dan melakukan sesuatu tentang hal itu.

Pameran Transportasi Alternatif Burbank, California September 1992 memberi saya hak istimewa untuk melihat Honda CRX Propulsi AC, yang ditunjukkan pada Gambar 7.6, dari dekat. Meskipun pengontrol AC-100 motor listrik dari AC Propulsion rumit (dan memenuhi kompartemen mesin), drivetrain-nya sederhana (hanya gigi 1 yang dipasang), dan hasilnya menakjubkan. Mengemudinya sangat mudah dan kejutan besar. Setelah daftar periksa pra-penerbangan kecil dari

Alan—"Anda memang memiliki SIM, bukan?"—ia menyelinap ke kursi penumpang sementara saya mengambil alih kemudi. Setelah memutar kunci, salah satu dari tiga tombol di kiri dasbor memilih maju, netral, atau mundur. Begitu berada di jalan raya, motor induksi berperilaku seperti transmisi otomatis paling halus yang bisa dibayangkan, dengan satu perbedaan besar. Semua torsi motor langsung tersedia di hampir semua kecepatan. Setelah Alan menasihati, "Jangan takut untuk menginjaknya," saya melakukannya, dan tiba-tiba didorong kembali ke kursi saya sambil diam-diam membentuk kata "Wow" di bibir saya. Ketika aku menoleh untuk melihat Alan, dia menyeringai lebar. Selanjutnya, Alan mengarahkan perhatian saya ke tuas regenerasi di sebelah kanan dasbor. Semua jalan dalam satu arah adalah regenerasi penuh. Lepaskan kaki Anda dari pedal akselerator dan kendaraan langsung melambat, bahkan tanpa menyentuh rem. Dorong tuas sepenuhnya ke arah lain dan Anda tidak memiliki regenerasi. Lepaskan kaki Anda dari pedal akselerator dan kendaraan meluncur dan meluncur.

Setelah saya kembali ke bumi, Alan memberi saya tur keliling, dan berbicara tentang baterai (Honda CRX AC Propulsion menggunakan 28 baterai 12 volt, deep-discharge, timbal-asam konvensional yang menghasilkan 336 volt), pengontrol, motor, filosofi pengisian, dan instrumentasi sementara (untuk memantau kinerja).

Kembali ke stan ruang pameran mereka, karyawan AC Propulsion Tiffany Mitchell memamerkan manfaat lain dari desain tersebut (lihat Gambar 7.7)—ukuran motor yang sangat kecil! Motor induksi AC 4 kutub ini menghasilkan 110 ft-lbs. torsi di mana saja dari 0 hingga 5.000 rpm, dan maksimum 120-hp yang menakjubkan antara 6.500 rpm dan 10.000 rpm (rpm maksimum adalah 12.000), namun beratnya hanya 100 lbs. Ingatlah bahwa motor DC seri yang direkomendasikan Bab 6 mengeluarkan maksimum 70 hp dan beratnya 143 lbs. Tepat di belakang dan di atas motor di meja bilik adalah pengontrol AC. Ini termasuk inverter gaya PWM 100-kVA; sirkuit pengisian baterai; logika kontrol; antarmuka untuk pedal kontrol, instrumen dasbor, dan pencahayaan; catu daya DC 12 volt tambahan; dan banyak interlock untuk keselamatan operator. Jika Anda membuka tutup pengontrol, Anda dapat melihatnya menggunakan komponen yang tersedia (perangkat daya MOSFET) dan teknik fabrikasi standar.



Gambar 7.6 Alan Cocconi di depan Honda CRX EV versi AC Propulsion.



Gambar 7.7 motor induksi AC



Gambar 7.8 Gambar AC-150 (Courtesy of AC Propulsion).

Literatur AC Propulsion sendiri mengatakan yang terbaik tentang AC-150 yang lebih baru yang ditunjukkan pada Gambar 7.8: “Drivetrain AC-150 secara konsisten menerima pujian di seluruh dunia untuk desain inovatif dan kinerjanya yang menakjubkan. Pertama kali tersedia pada tahun 1994, sistem penggerak AC-150 mempertahankan peringkat 150 kW (200 hp) generasi pertama, tetapi memiliki

lebih sedikit suku cadang, 30 persen lebih kecil, 8 pon lebih ringan dan mengemas lebih banyak fungsi di dalam penutup elektronik daripada AC-150 asli. Sejauh ini salah satu fiturnya yang paling menarik adalah antarmuka daya jaringan dua arah 20 kW yang tidak terpisahkan. Antarmuka jaringan terintegrasi pada awalnya dikembangkan untuk berfungsi sebagai pengisi daya baterai daya tinggi untuk kendaraan listrik baterai. Dengan kemampuan dua arah, banyak aplikasi baru dibuka untuk kendaraan penggerak listrik dari semua jenis, termasuk pembangkit terdistribusi, menjual layanan tambahan jaringan, pengujian pelepasan diagnostik baterai otomatis, dan menggunakan kendaraan untuk menyediakan daya cadangan yang tidak pernah terputus ke rumah atau bisnis.”

Desain Penggerak AC juga memiliki pengisi daya baterai canggihnya sendiri (menghilangkan kebutuhan akan pengisi daya eksternal tambahan), yang kemampuan 20-kW pada faktor daya persatuan memungkinkan Anda untuk mengisi ulang sepenuhnya hanya dalam satu jam dari 240- volt, stopkontak AC 40-amp, dan semalaman dari sumber AC konvensional 120 volt. Di bawah pada Gambar 7.9 adalah tampilan close-up dari drivetrain elektronika daya 120kW Propulsi AC di dalam kendaraan terbaru mereka, eBox. Gambar 7.10 menunjukkan bagaimana sambungan dibuat ke amplifier 120kW di eBox ke kipas motor, sasis, daya 260 VAC, sinyal motor, dan daya motor. Mereka telah membuat pengaturan pengontrol dengan koneksi yang mudah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.9, yang terletak di tengah-tengah area di mana mesin ICE akan ditempatkan.

Jika Anda memiliki uang, Anda dapat membeli salah satu sistem Penggerak AC untuk proyek konversi motor listrik Anda sendiri hari ini (\$25.000 plus untuk sistem mereka) namun, biayanya beberapa kali lipat dari anggaran konversi Bab 4 itu sendiri. Namun, mengingat kecenderungan perangkat solid-state untuk menggandakan kinerja harga setiap beberapa tahun, jejak yang dicetuskan oleh AC Propulsion memiliki tujuan yang jelas. Pertunjukan Burbank dari AC Propulsion untuk Bob Brant adalah pengalaman yang memperluas kesadaran tentang seperti apa masa depan semua konverter motor listrik.



Gambar 7.9 AC Propulsion 120kW power electronic drivetrain di eBox.



Gambar 7.10 Tampilan jarak dekat dari beberapa sambungan ke “penguat” 120kW pada eBox.

Saat ini, beberapa mobil listrik performa tinggi terbaik menggunakan sistem Propulsi AC dari mobil sport listrik Wrightspeed x1, hingga mobil performa tinggi Venturi Fetish dari Italia, hingga Tesla.

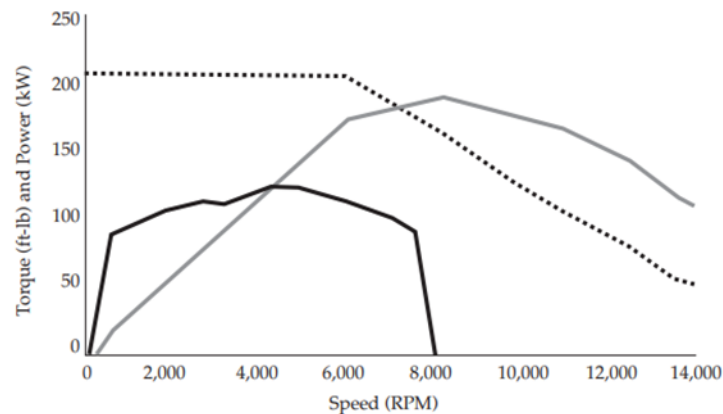
7.4.2 Tesla

Apa yang bisa kita katakan, tetapi ada Tesla Motors. Mobil listrik baru di pasaran ini memiliki penggerak AC yang luar biasa dengan desain baru dengan pengontrol baru, motor baru, dan sub-sistem baterai baru.

Tesla Roadster memberikan ketersediaan kinerja penuh setiap saat Anda berada di dalam mobil, bahkan saat di lampu merah. Torsi puncaknya dimulai pada 0 rpm dan tetap bertenaga pada 13.000 rpm.

Hal ini membuat Tesla Roadster enam kali lebih efisien dari mobil sport terbaik sambil menghasilkan sepersepuluh dari polusi. Gambar 7.11 menunjukkan kepada Anda bahwa kinerja versus mesin pembakaran internal dan angka-angka berbicara sendiri. Tesla adalah mobil sport motor listrik "buat sendiri" yang hebat untuk massa saat ini.

Koneksi dengan motor dan baterai dengan cara yang cerdas dan efisien. Hal ini membuat Tesla Roadster enam kali lebih efisien dari mobil sport terbaik sambil menghasilkan sepersepuluh dari polusi. Gambar 7.11 menunjukkan kepada Anda bahwa kinerja versus mesin pembakaran internal dan angka-angka berbicara sendiri.



- Kurva Torsi Tesla
- Kurva Daya Tesla
- Kurva Torsi Mesin Performa Tinggi 4 Silinder

Gambar 7.11 Performa Dan Torsi Dibandingkan Mesin Pembakaran Internal
(*Courtesy Of Tesla Motors*).

Garis hitam mewakili kemampuan torsi mesin bensin, yang memiliki torsi kecil pada rpm rendah dan hanya dapat menghasilkan tenaga kuda yang wajar dalam kisaran rpm yang sempit. Sebaliknya, garis putus-putus menunjukkan bagaimana motor listrik Tesla Roadster menghasilkan torsi tinggi pada 0 rpm, memberikan akselerasi konstan hingga 6.000 rpm, dan terus memberikan tenaga tinggi hingga 13.000 rpm. Garis abu-abu menunjukkan daya poros dari motor listrik Tesla Roadster saat dibangun dengan kecepatan tinggi hingga puncak 189 kW pada sekitar 8.000 rpm.

7.5 Kesimpulan

Secara sederhana, komputer berpikir dalam logika biner: 1 dan 0, hidup dan mati, ya dan tidak. Daripada sistem umpan balik kompleks yang menghasilkan hasil yang Anda inginkan (mesin), Anda dapat menerapkan pendekatan logika sederhana yang menggerakkan Anda ke sana secara langsung (pengontrol). Selain itu, sebagai hasil dari peningkatan teknologi, Anda dapat menghemat komponen tanpa mengorbankan keselamatan dan biaya. Pembuat ponsel dan kamera, dengan siapa miniaturisasi telah diangkat ke bentuk seni, sangat gembira dengan teknologi dan telah meningkat pada setiap generasi baru. Apa artinya konverter motor listrik adalah elektronik yang lebih kecil dan lebih murah. Jadi, ada masa depan yang cerah untuk konversi motor listrik dan motor listrik hari ini. Maju dengan setiap generasi teknologi baru meningkatkan peluang kita untuk semua penggerak listrik.

Ada lebih banyak pengontrol daripada sebelumnya yang tersedia; AC dan DC, barang bekas industri dan Cina murah berkualitas tinggi; baru, bekas, dan kelebihan. Ada sejumlah besar bagian surplus dan pengontrol sudah tersedia. Anda bisa mendapatkan semua bagian yang Anda butuhkan dengan harga murah. Internet, mesin pencari, dan daftar diskusi email telah membuat informasi tentang motor listrik jauh lebih mudah ditemukan.

Keterampilan dan alat yang diperlukan untuk membuat pengontrol motor listrik Anda sendiri tidak pernah semudah ini didapat. Ada catatan aplikasi pabrikan dengan sirkuit kerja lengkap, papan demo pengontrol motor murah yang hanya perlu ditingkatkan, modul transistor daya yang menangani semua kabel daya tinggi yang rumit untuk Anda, dll. Desain pengontrol motor listrik yang sempurna belum dibuat. Tidak ada proyek pengontrol sumber terbuka yang setara dengan Linux, misalnya—tetapi ada orang yang mengerjakannya! Hal utama yang menghentikan kebanyakan orang hanyalah sikap apatis mereka sendiri. Apakah Anda yakin Anda bisa melakukannya, atau tidak bisa melakukannya. (Sumber: Lee Hart, 3/12/08)

BAB VIII

BATERAI

"Lebih dari 85% energi bensin rata-rata mobil dibuang sebagai panas."

Dr. Paul MacCready, Temukan, Maret 1992

Baterai, motor, dan pengontrol saat ini semuanya lebih unggul dari rekan-rekan mereka beberapa dekade yang lalu. Bertentangan dengan mereka yang mengatakan Anda akan memerlukan jenis baterai yang berbeda sebelum motor listrik cocok sama sekali, baterai timbal-asam konvensional saat ini dari variasi debit dalam sangat memadai untuk konversi motor listrik Anda. (Catatan: Sementara baterai lithium-ion dan baterai nikel lebih mudah digunakan, bab ini sebagian besar akan berfokus pada timbal-asam.)

Baterai timbal-asam yang ditingkatkan secara rutin tersedia dari berbagai pemasok dengan harga yang bagus. Dengan asumsi desain sistem yang tepat, jika Anda memasang baterai dengan benar dan merawatnya dengan hati-hati, Anda tidak perlu khawatir untuk menggantinya selama puluhan ribu mil. Baterai masa depan akan lebih ringan dan lebih kuat, tetapi hampir tidak bisa lebih nyaman daripada sekarang.

Dalam bab ini Anda akan belajar tentang cara kerja baterai dan bahasa yang digunakan untuk membahaminya. Anda akan diperkenalkan dengan berbagai jenis baterai, serta kelebihan dan kekurangannya. Kemudian kita akan melihat jenis baterai terbaik untuk konversi motor listrik Anda hari ini, jenis timbal-asam yang digunakan dalam konversi Bab 10, dan melihat kemungkinan perkembangan baterai di masa mendatang.

8.1 Ikhtisar Baterai

Sasis motor listrik Anda melibatkan aspek mekanis, dan motor serta pengontrolnya berurusan dengan yang elektrik. Baterainya sekarang akan membawa Anda ke area kimia. Meskipun ada berbagai macam pengembangan baterai yang terjadi di laboratorium, tujuannya di sini adalah untuk memberi Anda latar belakang baterai singkat, dan memperkenalkan baterai timbal-asam yang akan Anda gunakan pada konversi motor listrik Anda. Banyak buku bagus tentang baterai tersedia baik di tingkat pendahuluan maupun tingkat lanjutan bagi mereka yang menginginkan lebih banyak data.

Karena paket baterai motor listrik Anda kumpulan baterai timbal-asam 16 hingga 24 volt (atau setara 12 volt) individu merupakan item biaya penggantian tunggal terbesar, dan sangat mungkin juga merupakan item pengeluaran awal terbesar Anda, ini layak untuk dibelanjakan beberapa waktu belajar tentang baterai sehingga Anda dapat memilih dan

menggunakannya dengan bijak. Baterai adalah nafas kehidupan motor listrik Anda, dan setiap konverter motor listrik harus terbiasa dengan mereka di tiga level.

Untuk lulus dari kelas baterai, Anda perlu:

- Pahami apa yang terjadi di dalam baterai
- Kenali karakteristik eksternal baterai
- Pelajari pro dan kontra bekerja dengan baterai dunia nyata

Pengetahuan di tiga bidang ini adalah investasi bisnis yang baik yang dapat menghemat waktu dan uang Anda. Dengan menggunakan baterai timbal-asam berusia 100 tahun yang telah teruji dan benar sebagai contoh, mari kita lihat masing-masing dari tiga area secara bergantian, dimulai dengan apa yang terjadi di dalam baterai.

8.2 Didalam Baterai Anda

Baterai adalah pabrik kimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Anda tidak perlu mengetahui semua detail cara kerja baterai Anda, tetapi Anda harus memiliki pemahaman dasar tentang elemen dan prosesnya. Kami akan mulai dengan sedikit sejarah dan ikhtisar, dan kemudian masuk ke bagian dan bagiannya.

Kenalan pertama Anda dengan baterai kimia mungkin terjadi di kelas biologi sekolah menengah ketika instruktur Anda mereproduksi eksperimen Luigi Galvani tahun 1786 dengan menempatkan tegangan di kaki katak dan membuatnya berkedut. Alessandro Volta "pergi ke sekolah" tentang fenomena Galvani. Dia beralasan bahwa jika tegangan pada dua logam yang berbeda menghasilkan reaksi di kaki katak, dua logam berbeda dalam larutan konduktif akan menghasilkan tegangan, dan baterai pertama — tumpukan Volta-nya — lahir pada tahun 1798.

Peningkatan baterai terus terjadi sejak saat itu, tetapi prinsip dasarnya tetap tidak berubah. Aksi baterai terjadi di dalam sel, blok bangunan dasar baterai, yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Sebuah sel berisi dua bahan aktif atau elektroda dan larutan atau elektrolit yang menyediakan lingkungan konduktif di antara mereka. Ada dua jenis baterai: dalam baterai primer, tindakan kimia menggerogoti salah satu elektroda (biasanya negatif), dan sel harus dibuang atau elektroda diganti; dalam baterai sekunder, proses kimianya dapat dibalik, dan bahan aktif dapat dikembalikan ke kondisi semula dengan mengisi ulang sel. Baterai hanya dapat terdiri dari satu sel, seperti pada baterai utama yang memberi daya pada senter Anda, atau beberapa sel dalam wadah umum, seperti baterai sekunder yang memberi daya pada starter mobil Anda.

8.2.1 Bahan Aktif

Dalam jargon kimia, bahan aktif didefinisikan sebagai pasangan elektrokimia. Ini berarti bahwa salah satu bahan aktif, kutub positif atau anoda, kekurangan elektron; bahan aktif lainnya, kutub negatif atau katoda, kaya akan elektron. Bahan aktif biasanya padat (timbal-asam) tetapi bisa cair (natrium-sulfur) atau gas (seng-udara, aluminium-udara). Tabel 8.1 memberikan perbandingan snapshot dari beberapa elemen ini.

Tabel 8.1 Perbandingan Tegangan Oksidasi Elemen

Kelompok Tabel Periodik	1A Logam Ringan	2A Logam Ringan	8 Logam Berat	8 Logam Berat	8 Logam Berat	1B Logam Leleh Rendah	2B Logam Leleh Rendah	4A Logam Leleh Rendah	6A Non logam	7A Non logam
Elemen-Symbol	Lithium Li	Beryllium Be								Fluorine F
Nomor-Tegangan	#3 3.045	#4 1.85								#9 -2.87
Elemen-Symbol	Sodium Na	Magnesium Mg							Sulfur S	Chlorine Cl
Nomor-Tegangan	#11 2.714	#12 2.37							#16 0.51	#17 -1.36
Elemen-Symbol	Potassium K	Calcium Ca	Iron Fe	Cobalt Co	Nickel Ni	Copper Cu	Zinc Zn		Selenium Se	Bromine Br
Nomor-Tegangan	#19 2.925	#20 2.87	#26 0.44	#27 0.277	#28 0.246	#29 -0.337	#30 0.763		#34 0.78	#35 -1.065
Elemen-Symbol	Rubidium Rb	Strontium Sr		Rhodium Rh	Palladium Pd	Silver Ag	Cadmium Cd	Tin Sn	Tellurium Te	Iodine I
Nomor-Tegangan	#37 2.925	#38 2.89		#45 -0.6	#46 -0.987	#47 -0.7995	#48 0.403	#50 0.136	#52 0.92	#53 -0.536
Elemen-Tegangan	Cesium Cs	Barium Ba			Platinum Pt	Gold Au	Mercury Hg	Lead Pb		
Nomor-Tegangan	#55 2.923	#56 2.9			#78 -1.2	#79 -1.68	#80 -0.854	#82 -0.126		

Ketika beban dihubungkan di baterai, tegangan baterai menghasilkan aliran arus eksternal dari positif ke negatif sesuai dengan aliran elektron internal dari negatif

ke positif. Tegangan yang diamati dalam sel galvanik adalah jumlah dari apa yang terjadi di anoda dan katoda. Untuk membuat baterai yang ideal, Anda akan memilih bahan aktif yang memberikan potensi oksidasi terbesar di anoda ditambah dengan bahan yang memberikan potensi reduksi terbesar di katoda yang keduanya didukung oleh bahan elektrolit yang sesuai. Ini berarti Anda ingin memasang bahan pereduksi terbaik—litium (13,045 volt terhadap hidrogen sebagai elektroda referensi) dengan sesuatu yang tidak sabar untuk menerima elektronnya, atau bahan pengoksidasi terbaik—fluor (–2,87 volt sehubungan dengan hidrogen) dengan sesuatu yang tidak sabar untuk memberikan elektron padanya.

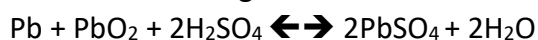
Dalam prakteknya, banyak faktor lain yang mempengaruhi, seperti ketersediaan bahan, kemudahan dalam membuat mereka bekerja sama, kemampuan untuk memproduksi produk akhir dalam volume, dan biaya. Sebagai hasil dari *trade-off*, hanya beberapa kemungkinan pasangan elektrokimia yang membuatnya menjadi baterai yang diproduksi secara komersial yang akan Anda temui nanti di bab ini.

8.2.2 Elektrolit

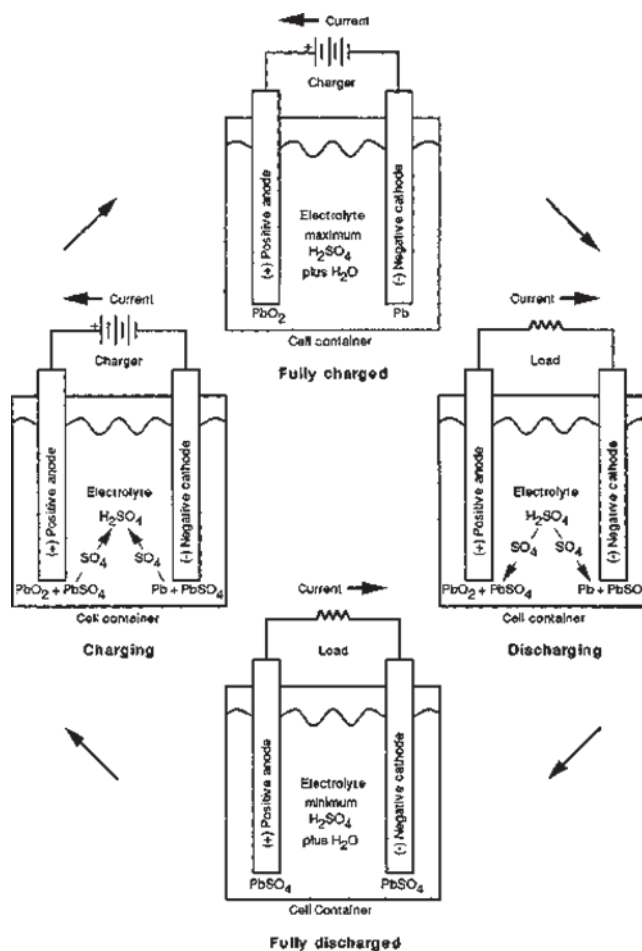
Elektrolit menyediakan jalur untuk migrasi elektron antara elektroda dan, dalam beberapa sel, juga berpartisipasi dalam reaksi kimia. Elektrolit biasanya berupa cairan (asam, garam, atau alkali ditambahkan ke air), tetapi bisa dalam bentuk jeli atau pasta. Dari segi kimia, baterai adalah elektroda dan elektrolit yang beroperasi di dalam sel atau wadah sesuai dengan reaksi kimia tertentu. Gambar 8.1 menunjukkan kimia dari sel baterai timbal-asam yang sangat sederhana yang akan diperiksa dalam beberapa bagian berikut karena mengalami empat tahap: terisi penuh, habis, kosong penuh, dan terisi. Ini terdiri dari elektroda yang terbuat dari timbal spons (Pb), elektroda lain yang terbuat dari timbal peroksida (PbO₂), dan elektrolit yang terbuat dari campuran asam sulfat (H₂SO₄) yang diencerkan dengan air (H₂O).

8.2.3 Reaksi Kimia Keseluruhan

Menggabungkan elemen bahan aktif menjadi senyawa yang selanjutnya bergabung dengan aksi elektrolit secara signifikan mengubah sifat aslinya. Pengoperasian baterai yang sebenarnya paling baik dijelaskan oleh persamaan kimia yang mendefinisikan operasinya. Dalam kasus baterai timbal-asam, persamaan ini diberikan sebagai:



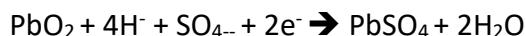
Sisi kiri persamaan mewakili sel dalam kondisi terisi, dan sisi kanan mewakili sel yang kosong. Dalam baterai timbal-asam yang diisi, pelat anoda positifnya hampir semua timbal peroksida (PbO_2), pelat katoda negatifnya hampir semua timbal spons (Pb), dan elektrolitnya sebagian besar adalah asam sulfat (H_2SO_4) (lihat bagian atas Gambar 8.1). Dalam kondisi habis, kedua pelat sebagian besar adalah timbal sulfat (PbSO_4), dan larutan elektrolit asam yang digunakan untuk membentuk timbal sulfat sebagian besar menjadi air (H_2O) (lihat bagian bawah Gambar 8.1).



Gambar 8.1 Kimia Sel Timbal-Asam Sederhana.

8.2.4 Pengosongan Reaksi Kimia

Persamaan umum memberikan pandangan yang lebih akurat ketika dianalisis secara terpisah pada setiap elektroda. Proses pengosongan dijelaskan di anoda sebagai:



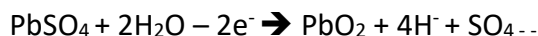
Proses pengosongan dijelaskan di katoda sebagai:



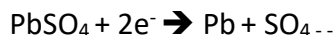
Saat pemakaian, katoda memperoleh radikal sulfat (SO_4) dari larutan elektrolit dan melepaskan dua elektron dalam prosesnya. Elektron ini diperoleh oleh anoda yang kekurangan elektron. Aliran elektron dari katoda negatif ke anoda positif di dalam baterai adalah sumber daya baterai dan arus eksternal mengalir dari anoda positif ke katoda negatif melalui beban. Dalam proses pengosongan (kanan Gambar 8.1), kedua elektroda menjadi dilapisi dengan timbal sulfat (PbSO_4)—isolator yang baik yang tidak menghantarkan arus—dan radikal sulfat (SO_4) dikonsumsi dari elektrolit. Pada saat yang sama area fisik pelat seperti spons yang tersedia untuk reaksi lebih lanjut berkurang karena dilapisi dengan timbal sulfat; ini meningkatkan resistansi internal sel, dan menghasilkan penurunan tegangan outputnya. Pada titik tertentu sebelum semua radikal sulfat (SO_4) dikonsumsi dari elektrolit, tidak ada lagi area yang tersedia untuk reaksi kimia dan baterai dikatakan benar-benar habis.

8.2.5 Pengisian Reaksi Kimia

Proses pengisian digambarkan di anoda sebagai:



Proses pengisian digambarkan di katoda sebagai:



Proses pengisian (kiri Gambar 8.1) membalikkan aliran elektron melalui baterai dan menyebabkan ikatan kimia antara timbal (Pb) dan radikal sulfat (SO_4) terputus, melepaskan radikal sulfat kembali ke dalam larutan. Ketika semua radikal sulfat kembali dalam larutan dengan elektrolit, baterai dikatakan terisi penuh.

8.2.6 Gravitasi Spesifik Elektrolit

Berat jenis cairan apa pun adalah rasio berat volume tertentu cairan itu dibagi dengan berat volume air yang sama. Atau berat jenis suatu bahan dapat dinyatakan sebagai densitasnya dibagi dengan densitas air, karena densitas suatu material adalah rasio massa terhadap volumenya. Air memiliki berat jenis 1.000. Asam sulfat pekat memiliki berat jenis 1,830-1,83 kali lebih padat dari air. Dalam baterai yang terisi penuh pada 80° F, air dan asam sulfat bercampur dalam perbandingan volume empat banding satu (25% asam sulfat) untuk menghasilkan berat jenis 1,275, dan asam sulfat mewakili sekitar 36% elektrolit dengan bobot.

Sementara berat jenis tidak signifikan pada jenis baterai lain, ini penting dalam baterai timbal-asam, karena jumlah asam sulfat yang bergabung dengan pelat pada satu waktu berbanding lurus dengan laju pelepasan (arus 3 kali, biasanya diukur dalam ampere jam), dan karena itu merupakan indikator langsung dari status pengisian daya.

8.2.7 Status Pengisian

Tegangan baterai, hambatan dalam, dan jumlah asam sulfat yang digabungkan dengan pelat pada satu waktu merupakan indikator berapa banyak energi yang ada dalam baterai pada waktu tertentu. Seringkali ini diberikan sebagai persentase dari nilai yang terisi penuh; misalnya, 75% energi baterai masih tersedia dan 25% telah digunakan.

Secara tradisional, berat jenis elektrolit digunakan sebagai pengukuran. Saat ini, karena tegangan dapat digunakan untuk menentukan status pengisian baterai dan hidrometer, perangkat yang digunakan untuk mengukur berat jenis, dapat menyebabkan ketidakakuratan dan mencemari sel baterai, status pengisian ditentukan secara elektronik.

8.2.8 Gas

Saat pengisian hampir selesai, fenomena lain terjadi: gas hidrogen (H_2) dilepaskan pada pelat katoda negatif dan gas oksigen (O_2) dilepaskan pada pelat anoda positif. Ini karena setiap arus pengisian di luar yang diperlukan untuk membebaskan sejumlah kecil radikal sulfat dari pelat mengionisasi air dalam elektrolit dan memulai proses elektrolisis (memisahkan air menjadi gas hidrogen dan oksigen). Sementara sebagian besar gas hidrogen dan oksigen bergabung kembali untuk membentuk uap air (alasan utama pengisian air secara berkala diperlukan dalam jenis baterai ini), adanya gas hidrogen yang mudah terbakar dan berpotensi meledak sangat menunjukkan bahwa pengisian dilakukan di sumur- berventilasi, dan Anda menghindari menyalakan rokok.

8.2.9 Menyamakan

Seiring waktu, sel-sel baterai timbal-asam mulai menunjukkan perbedaan dalam keadaan pengisian dayanya. Perbedaan dapat disebabkan oleh suhu, bahan, konstruksi, elektrolit, bahkan oleh stratifikasi elektrolit (kecenderungan asam sulfat yang lebih berat untuk tenggelam ke bagian bawah sel) yang menyebabkan penuaan dini pada pelat di bagian itu. Satu-satunya cara untuk perbedaan ini adalah dengan menggunakan *overcharge* terkontrol, menyamakan karakteristik sel dengan menaikkan tegangan pengisian lebih tinggi lagi setelah baterai terisi

penuh, dan mempertahankannya pada tingkat ini selama beberapa jam sampai sel yang berbeda kembali menguji identik. Jelas, ini menghasilkan gas yang cukup besar, jadi tindakan pencegahan di area yang berventilasi baik dan dilarang merokok pasti berlaku.

8.2.10 Penggantian Elektrolit

Menambahkan asam sulfat ke sel atau baterai timbal-asam yang kosong tidak mengisi ulang hanya meningkatkan berat jenis tanpa mengubah timbal sulfat pelat kembali menjadi bahan aktif (alasan lain mengapa pengukuran tegangan lebih disukai daripada penggantian elektrolit). Hanya melewatkan arus pengisian melalui sel yang mengembalikannya ke kondisi terisi penuh.

8.2.11 Sulfasi

Masa pakai baterai yang terbatas disebabkan oleh fakta bahwa semua radikal sulfat (SO_4) tidak dapat dihilangkan dari pelat saat diisi ulang. Semakin lama radikal sulfat tetap terikat pada pelat, semakin sulit untuk melepaskannya. Untuk menunda hal yang tak terelakkan selama mungkin, baterai harus disimpan dalam keadaan terisi daya, dan pengisian yang seimbang harus dilakukan secara teratur.

8.3 Diluar Baterai Anda

Ketika Anda menghubungkan ke wadah tertutup baterai, itu menunjukkan sifat fisik dan listrik eksternal tertentu. Anda harus relatif akrab dengan ini karena mereka berguna bagi Anda. Kami akan meninjau istilah yang sudah Anda kenal dari Bab 6 dan 7, dan kemudian beralih ke area khusus baterai.

8.3.1 Definisi Listrik Dasar

Anda ingat contoh kendi air minum plastik galon dari Bab 6. Mari kita hubungkan dengan definisi kunci listrik:

Tegangan

Gaya baterai (yaitu, potensial atau tegangannya) sesuai dengan gaya air (tekanan atau potensinya untuk melakukan kerja): ketinggian air dalam contoh kendi air. Saat Anda menghubungkan bola lampu ke baterai, bola lampu menyala. Saat Anda menghubungkan dua baterai secara seri untuk menggandakan tegangan, bohlam akan menyala lebih terang.

Ada aspek penting lain untuk tegangan baterai. Dalam analogi kendi air, tekanan air yang keluar dari kendi turun saat Anda mengambil lebih banyak air dari kendi. Dengan cara yang sama, tegangan baterai turun saat Anda menggunakan baterai,

saat Anda menggunakan kapasitasnya. Karakteristik baterai yang penting ini akan dibahas lebih rinci nanti di bagian ini.

Arus

Arus (laju aliran elektron) sesuai dengan laju aliran air yang keluar dari dasar kendi. Ketika Anda menggandakan tegangan, Anda mengirim arus dua kali lebih banyak melalui kabel dan bola lampu menjadi lebih terang.

Hambatan / Resistor

Hambatan tersebut sesuai dengan ukuran lubang yang mengontrol laju aliran air yang keluar dari dasar kendi. Tegangan baterai berhubungan langsung dengan aliran arus dengan hambatan melalui persamaan Hukum Ohm yang Anda temui di Bab 6.

$$V = IR$$

Dimana V adalah tegangan dalam volt, I adalah arus dalam ampere, dan R adalah hambatan dalam ohm. Sebenarnya, ada dua resistansi: resistansi eksternal beban (dalam hal ini bola lampu) dan resistansi internal baterai. Resistansi internal baterai penting dalam efisiensi baterai (kehilangan panas), transfer daya, dan penentuan status pengisian daya.

Power

Daya listrik didefinisikan sebagai produk dari tegangan dan arus:

$$P = VI$$

Dimana V adalah tegangan dalam volt, I adalah arus dalam ampere, dan P adalah daya dalam watt. Untuk menggunakan bola lampu 100 watt sebagai pengganti bola lampu 50 watt membutuhkan dua kali jumlah daya dari baterai dua kali arus pada tegangan baterai yang sama. Jika persamaan Hukum Ohm disubstitusikan ke persamaan sebelumnya,

$$P = I^2R$$

Persamaan ini mendefinisikan rugi-rugi daya dalam hambatan-hambatan dalam rangkaian—baik beban eksternal atau baterai internal.

Efisiensi

Efisiensi baterai adalah

$$\text{Efisiensi} = \text{Power Out} / \text{Power In}$$

Kerugian baterai utama adalah karena panas. Ini berasal dari resistansi dan sumber kimia: resistansi internal baterai menentukan pemanasan atau kehilangan PR saat pengisian dan pemakaian; reaksi kimia antara timbal dan asam sulfat menghasilkan panas (disebut reaksi eksotermik) selama pengisian; dan reaksi kimia menyerap panas (disebut reaksi endotermik) selama pengisian.

Sementara rugi-rugi PR tetap ada baik saat pengisian atau pengosongan—karena sebanding dengan kuadrat aliran arus—kenaikan panas baterai lebih tinggi selama pengisian (karena rugi-rugi pemanasan PR menambah reaksi kimia penghasil panas internal) dan lebih rendah selama pengosongan (karena IR kehilangan panas diseimbangkan oleh reaksi kimia penyerap panas internal). Mengingat hubungan PR, pengisian atau pengosongan pada tingkat arus yang lebih rendah jelas berkontribusi untuk menjaga kerugian baterai lebih rendah.

8.3.2 Kapasitas Baterai

Kapasitas adalah dua faktor penentu baterai utama. Kapasitas adalah ukuran berapa banyak energi yang dapat dikandung baterai, analog dengan jumlah air di dalam kendi. Kapasitas tergantung pada banyak faktor, yang paling penting adalah

- Luas atau ukuran fisik pelat yang bersentuhan dengan elektrolit
- Berat dan jumlah material di piring
- Jumlah pelat, dan jenis pemisah antar pelat
- jumlah dan berat jenis elektrolit
- Usia baterai
- Kondisi sel—sulfasi, sedimen di dasar, dll.
- Suhu
- Batas tegangan rendah
- Tingkat debit

Perhatikan empat item pertama yang berkaitan dengan pelat baterai dan elektrolit konstruksinya; dua item berikutnya menyangkut sejarahnya; dan tiga yang terakhir tergantung pada bagaimana Anda menggunakannya saat ini. Kami akan membahas semua detailnya, tetapi perlu diingat bahwa hal paling jujur yang dapat Anda katakan tentang kapasitas baterai adalah: itu tergantung.

Kapasitas baterai ditentukan dalam ampere-jam. Baterai dengan kapasitas 100 ampere-jam secara teori dapat menghasilkan 1 amp selama 100 jam atau 100 amp selama 1 jam. Ini tidak membantu Anda lebih dari menggambar garis lurus di peta jika seseorang menanyakan tujuan Anda. Anda membutuhkan koordinat kedua, kapasitas faktor kedua.

Kapasitas baterai adalah faktor penentu kedua. Ini mengacu pada tingkat di mana ia dapat diisi atau dikosongkan. Ini analog dengan seberapa cepat wastafel akan terisi air dari kendi. Dalam bentuk persamaan:

$$\text{Peringkat Baterai} = \text{Kapasitas/Waktu Siklus}$$

Dalam persamaan ini, peringkat diberikan dalam ampere untuk kapasitas dalam ampere-jam dan waktu siklus dalam jam. Dalam istilah praktis, baterai dengan kapasitas 100 ampere-jam yang dapat menghasilkan 1 amp selama 100 jam (dikenal sebagai laju C/100) belum tentu dapat menghasilkan 100 amp yang jauh lebih tinggi selama 1 jam (dikenal sebagai tarif C/1). Anda hanya bisa mengeluarkan air dari kendi begitu cepat.

Meminta 10 amp dari baterai berkapasitas 100 AH yang terisi penuh mencerminkan tingkat C/10; permintaan yang sama ini mencerminkan tingkat C/40 yang jauh lebih rendah dari baterai 400 AH. Dengan kata lain, baterai yang lebih kecil harus mengirimkan energi lebih cepat dalam kaitannya dengan ukurannya, atau baterai yang lebih besar memiliki tingkat pelepasan yang lebih rendah dalam kaitannya dengan kapasitasnya.

Kapasitas baterai komersial distandarisasi oleh *Battery Council International (BCI)* menjadi beberapa angka yang dapat digunakan. Dua angka, kapasitas 20 jam dan kapasitas cadangan, biasanya diberikan untuk setiap baterai tergantung pada aplikasinya.

- Kapasitas 20 Jam—Ini adalah tingkat pengosongan baterai selama 20 jam—tingkat C/20-nya. Setiap baterai dinilai untuk menghasilkan 100 persen dari kapasitas terukurnya pada tingkat C/20, jika habis dalam 20 jam atau lebih. Jika baterai habis pada tingkat yang lebih cepat, itu akan memiliki kapasitas ampere-jam yang lebih rendah.
- Menit pada Kapasitas Cadangan 25 amp—Ini adalah jumlah menit baterai yang terisi penuh dapat menghasilkan arus 25 amp. Ini adalah peringkat baterai starter otomotif yang memberi tahu Anda berapa lama baterai starter Anda akan memberi daya pada aksesoris otomotif Anda jika sabuk kipas Anda putus dan memutus alternator; dengan kata lain, berapa menit Anda harus sampai ke pom bensin terdekat.
- Menit pada Kapasitas Cadangan 75 amp—Ini adalah jumlah menit baterai yang terisi penuh dapat menghasilkan arus 75 amp. Ini adalah peringkat baterai kereta golf, karena 72 menit berarti jumlah waktu yang dibutuhkan untuk bermain golf dua putaran. Jadi angka ini memberi tahu Anda berapa lama

baterai Anda akan memberi daya pada kereta golf Anda: dua putaran, tiga putaran, dll.

- Kapasitas Cadangan Tiga Jam—Ini adalah standar BCI yang saat ini sedang populer yang mencakup pengguna motor listrik. Ini didefinisikan sebagai 74% dari tarif 20 jam. Karena tiga jam berarti jumlah waktu rata-rata yang mungkin digunakan motor listrik dalam penggunaan sehari-hari, perjalanan, belanja, dll.:

$$\text{Kapasitas Cadangan 3 Jam} = 0,74 \times \text{Kapasitas Cadangan 20 Jam}$$

8.3.3 Seni yang Lembut dalam Pengisian Ulang Baterai

Tujuan dengan baterai adalah untuk menjaga keseimbangan. Seberapa cepat baterai diisi dan dikosongkan merupakan faktor penting yang menentukan efisiensi langsung dan umur panjangnya. Di mana baterai diisi dan dikosongkan, relatif terhadap status pengisiannya, merupakan faktor yang sama pentingnya.

Karena pola mengemudi perkotaan untuk motor listrik sangat terputus-putus, tingkat pelepasan baterai akan bervariasi di seluruh peta. Sementara energi ditarik keluar dari baterai Anda jauh lebih sulit daripada C/20 pada startup dan akselerasi, Anda hanya melakukan ini sesaat, dan siklus mengemudi perkotaan biasanya menyiratkan bahwa baterai motor listrik diberikan sejumlah "istirahat" antara permintaan debit. Intinya adalah

- Hindari menempatkan beban jenis C/1 yang terus-menerus, berat, pada baterai Anda di mana pun dalam siklus pengisian dayanya. Paket baterai yang dapat menghasilkan 100 persen dari kapasitasnya saat habis dalam waktu X mungkin hanya memberikan 50% dari kapasitasnya saat habis dalam waktu X/3. Ingat contoh air yang mengalir keluar dari kendi—semakin cepat Anda mengeluarkannya, semakin sedikit tekanan yang ada untuk mendorong keluar jumlah yang tersisa.
- Hindari pengosongan baterai Anda secara berlebihan saat kondisi pengisian daya di bawah 20%. Pengosongan tingkat tinggi di bawah status pengisian 20% dapat sangat mengurangi masa pakai baterai atau bahkan menghancurkannya.
- Berbeda dengan pemakaian, Anda dapat mengontrol nasib baterai Anda selama proses pengisian. Faktanya, ini sangat penting untuk Anda lakukan, karena pengisian daya yang berlebihan dan pengisian daya yang kurang akan mempersingkat masa pakai baterai. Baterai yang diisi ulang secara terus-menerus atau terlalu cepat dapat rusak; baterai terus-menerus undercharged menjadi sulfat dan tidak efisien. Bab 9 mencakup pengisi daya baterai modern yang dapat membantu Anda. Bagian atas Gambar 8.2 menunjukkan kurva pengisian baterai yang ideal.

- Batasi pengisian daya yang berat dalam 20% hingga 90% dari kisaran status pengisian daya, karena kemampuan baterai timbal-asam untuk menyimpan energi berkurang saat hampir penuh atau hampir kosong. Di bawah 20% dan di atas 90%, C/20 adalah kecepatan paling efisien (bagi kapasitas baterai Anda dalam ampere-jam dengan 20) untuk mengisi daya baterai Anda. Dalam kisaran 20–90%, C/10 memberikan kecepatan tercepat yang efisien untuk mengisi baterai timbal-asam; itu membuang lebih banyak panas daripada pada tingkat C/20, tetapi menghemat waktu. Di bawah 90%, kendalikan pengisian dengan membatasi arus agar tidak mengisi baterai yang hampir kosong terlalu cepat. Di atas 90%, batasi voltase agar tidak mengisi daya baterai secara berlebihan (atau mungkin merusak perangkat elektronik lain yang terpasang).

8.3.4 Suhu Menentukan Kinerja Baterai Asam Timbal

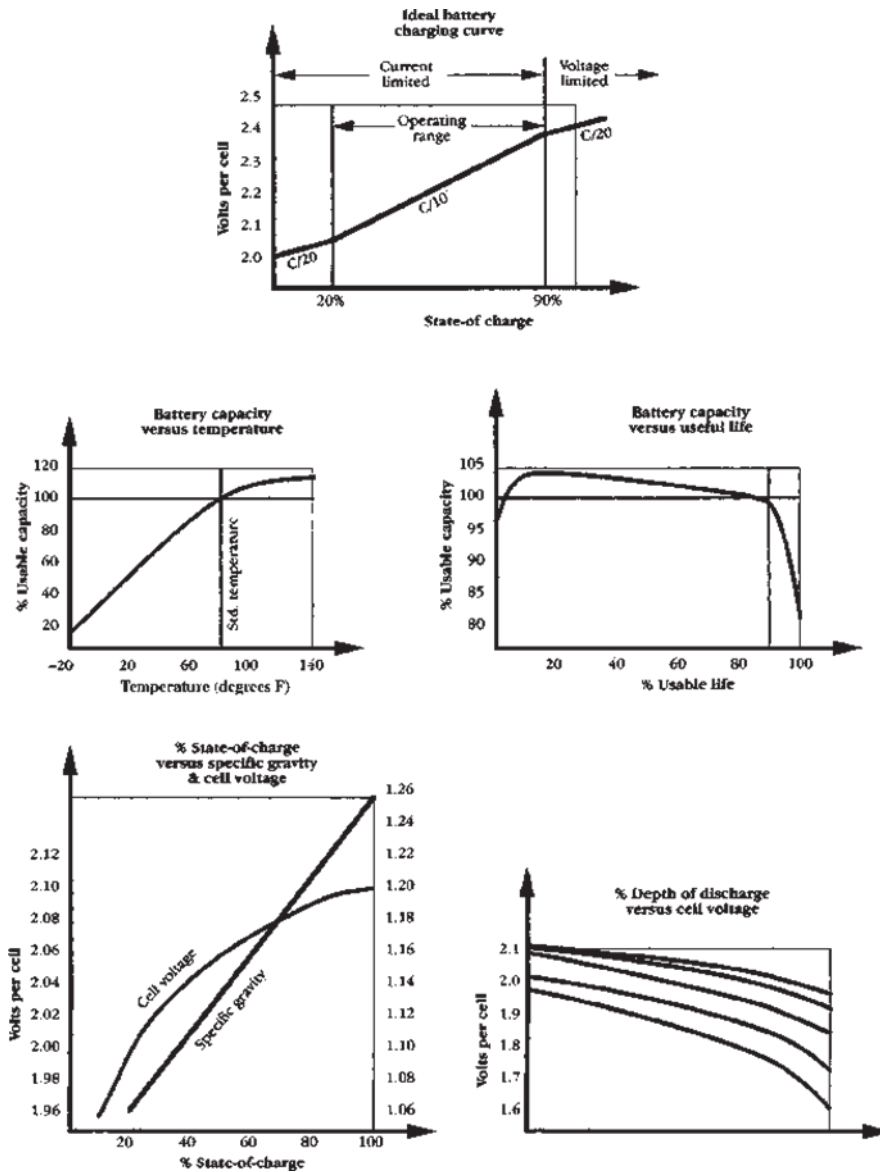
Karena energi yang disimpan dalam baterai timbal-asam bergantung pada reaksi kimia, segala sesuatu tentangnya dipengaruhi oleh suhu: kapasitas, tegangan, arus, dll. Karena reaksi kimia timbal-asam paling efisien pada suhu 78° F, sebagian besar baterai produsen menilai baterai mereka pada suhu "standar" ini. Diagram kiri tengah pada Gambar 8.2 menunjukkan bahwa keluaran baterai sangat dipengaruhi oleh suhu. Perhatikan bahwa hanya sekitar 70% dari kapasitas baterai yang tersedia pada 32° F, sementara sekitar 110% kapasitas baterai tersedia pada 110° F. Kesimpulan yang jelas di sini adalah bahwa konverter motor listrik di iklim yang lebih dingin perlu memilih model berikutnya yang lebih besar. model baterai di baris, sementara rekan-rekan Sun Belt mereka dapat menikmati kekuatan ekstra mereka, atau berhemat takik jika mereka tinggal di padang pasir.

Perhatikan juga bahwa baterai tidak membeku pada 32° F karena konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) dalam elektrolit. Konsentrasi ini meningkat (berat jenis lebih tinggi) dengan meningkatnya suhu dan sebaliknya, jadi penting untuk menjaga baterai operasi suhu rendah hampir terisi penuh setiap saat; membiarkan elektrolit membeku dalam baterai timbal-asam dapat menyebabkan kerusakan sel baterai permanen.

8.3.5 Usia Menentukan Kinerja Baterai Asam Timbal

Kapasitas baterai juga sangat bergantung pada usia. Diagram kanan tengah pada Gambar 8.2 menunjukkan bahwa kapasitas baterai dimulai pada sekitar 95% ketika baru, meningkat menjadi sekitar 105% setelah digunakan selama sekitar 20% dari masa pakainya, tetap rata, kemudian turun dengan cepat setelah 90% dari masa pakainya. Satu pengamatan adalah bahwa baterai motor listrik baru tidak akan memberi Anda hasil yang baik seperti yang telah digunakan beberapa saat.

Pengamatan lain adalah bahwa begitu Anda mulai melihat kinerja baterai turun secara signifikan, inilah saatnya untuk berpikir untuk membeli satu set lagi.



Gambar 8.2 Karakteristik Pengisian Dan Pengosongan Baterai Timbal-Asam.

8.3.6 Isi Daya Baterai - Gunakan atau Kehilangan

Karena setiap baterai memiliki resistansi internal, baterai akan habis dengan sendirinya jika tidak melakukan apa-apa. Suhu dan usia baterai adalah dua penentu utama seberapa cepat hal ini terjadi—peningkatan suhu dan usia mempercepat proses. Kehilangan kapasitas 5% per minggu adalah rata-rata untuk baterai timbal-asam (atau 50% dalam 10 minggu) baik Anda menggunakannya atau tidak, jadi isi ulang baterai secara berkala dimotor listrik Anda yang tersimpan. Ini

juga alasan mengapa membeli baterai adalah langkah terakhir dalam proses konversi motor listrik Anda.

Pemeriksaan kurva suhu Gambar 8.2 menunjukkan hal yang wajar bahwa baterai yang disimpan pada suhu dingin tidak melepaskan diri sama sekali. Benar, tetapi Anda juga tidak dapat mengeluarkan energi dari baterai untuk digunakan sendiri pada suhu dingin! Jika Anda berencana untuk menyimpan baterai Anda selama beberapa bulan, 40° F adalah suhu terbaik. Isi penuh baterai Anda sebelum disimpan dan hangatkan sebelum digunakan.

8.3.7 Pengukuran Saat Pengisian — Volt atau Gravitasi Spesifik

Grafik kiri bawah Gambar 8.2 menunjukkan mengapa berat jenis telah digunakan sebagai indikator status pengisian baterai begitu lama: ini adalah garis lurus yang mudah digunakan dan dipahami. Sayangnya, itu tidak menunjukkan kepada Anda bahwa suhu secara langsung mempengaruhi berat jenis (berat jenis lebih tinggi pada suhu yang lebih rendah). Selain itu, perangkat yang digunakan untuk mengukurnya, hidrometer bohlam, rentan terhadap kesalahan kalibrasi, kompensasi, dan pembacaan karena Anda biasanya mengukur dalam kisaran dari 1,100 hingga 1,300 hingga tiga tempat desimal. Dan jika Anda menggunakan hidrometer secara teratur, hampir dijamin bahwa Anda akan mencemari satu atau lebih sel baterai.

Pembacaan voltmeter digital yang akurat hingga digit 3F (setidaknya hingga 0,1 volt) adalah metode yang disukai saat ini untuk mengukur status pengisian daya. Berkat elektronik modern, Anda dapat mengamati level tegangan, level arus, dan/atau pembacaan voltmeter menggerakkan elektronik pengisi daya baterai secara langsung. Anda bahkan dapat memantau tegangan sel tunggal jika jenis baterai Anda memiliki tali sel eksternal, semua tanpa kesulitan membuka baterai Anda, berurusan dengan asam sulfat dan hidrometer, dll. Karena tegangan juga bervariasi dengan suhu (suhu yang lebih rendah menghasilkan tegangan yang lebih rendah), Anda dapat membuat bagan kecil untuk membantu Anda dengan bacaan pribadi Anda atau memasang sirkuit untuk melakukannya untuk Anda atau pengisi daya Anda secara otomatis.

Baik Anda menggunakan gravitasi spesifik atau metode voltase, untuk mendapatkan pembacaan status pengisian yang paling akurat, biarkan baterai "beristirahat" selama beberapa jam (minimal 2 jam, 6 jam lebih baik, 24 jam mungkin optimal, jika Anda bisa) membelinya) sebelum melakukan pengukuran. Pantau satu atau beberapa baterai daripada seluruh paket; periksa suhu sekitar

dan pembacaan odometer secara bersamaan; dan menyimpan buku catatan. Lakukan pada waktu yang tepat, lakukan secara konsisten, dan buat grafik sederhana. Ketekunan Anda akan memberi Anda catatan indah tentang kesehatan baterai motor listrik Anda.

8.3.8 Pengosongan Tidak Bisa Cepat

Pepatah “tergesa-gesa membuat sampah” benar-benar benar saat mengisi baterai. Grafik kanan bawah pada Gambar 8.2 menunjukkan bahwa semakin cepat Anda mengosongkan baterai, semakin rendah voltase (kapasitas yang lebih sedikit) yang Anda miliki. Jika Anda mengambil lebih banyak dan lebih sedikit, pada akhirnya Anda tidak mendapatkan apa-apa — cara yang sopan untuk mengatakan pemakaian yang berlebihan akan mengurangi masa pakai baterai.

Akibat wajar dari tindakan ini (kedalaman pengosongan) memengaruhi jumlah siklus pengisian/pengosongan yang dapat diberikan baterai Anda. Jumlah siklus yang dapat Anda harapkan dari baterai Anda kira-kira diberikan oleh persamaan:

$$\text{Siklus Masa Pakai Baterai} = K_d / \text{Depth-of-Discharge In}$$

Persamaan ini mengatakan bahwa jumlah siklus hidup baterai berbanding terbalik dengan rasio kedalaman pengosongan. Jika Anda secara konsisten mengosongkan baterai hingga 90%, Anda akan mendapatkan lebih sedikit siklus daripada menjalankannya ke area kedalaman pengosongan 50%. Dalam jumlah, K_d mungkin sekitar 12.000 untuk baterai awal, 24.000 untuk baterai siklus dalam, dan 30.000 atau lebih untuk baterai industri. Nilai-nilai ini mencerminkan fakta bahwa baterai tugas berat menghasilkan lebih banyak siklus atau mendukung tingkat kedalaman pengosongan yang lebih berat lebih baik daripada baterai starter.

Persamaan ini tidak mengatakan bahwa K_d akan berbeda untuk setiap pengguna, karena aplikasi setiap pengguna berbeda. Jika literatur pabrikan menyebutkan bahwa mereka memperoleh 750 siklus dari salah satu baterai mereka, itu tidak menjamin Anda akan melakukannya. Di sisi lain, Anda bahkan mungkin lebih baik.

Karena gas dan hilangnya material pelat saat Anda melewati titik pengisian 90% (10% kedalaman pengosongan), tanggung jawab atas kerusakan baterai saat Anda berada di bawah titik pengisian 20% (kedalaman pengosongan 80%), dan fakta bahwa setiap baterai timbal-asam memiliki masa pakai yang terbatas, panduan pengoperasian terbaik diterjemahkan ke pengoperasian baterai siklus-dalam Anda di tengah kisaran ini, kira-kira kisaran kedalaman pelepasan 40 hingga 60% untuk keseimbangan optimal antara masa pakai siklus, kedalaman pengosongan, dan

masa pakai baterai (kalender) fisik yang sebenarnya. Baterai industri tugas berat dapat menargetkan kisaran kedalaman pelepasan maksimum 60 hingga 80% untuk pengoperasian yang paling efisien.

8.4 Baterai Timbal-asam

Aspek praktis baterai timbal-asam mempengaruhi semua konverter motor listrik. Anda harus akrab dengan:

- Karakteristik yang harus Anda perhatikan saat membeli
- Langkah-langkah yang harus Anda ambil selama instalasi
- Pemeliharaan yang harus Anda lakukan selama kepemilikan

Maksud dari bagian ini bukan untuk menjadikan Anda seorang profesional baterai, tetapi untuk memberi Anda pengetahuan praktis sehingga Anda siap untuk membeli, memasang, dan merawat baterai Anda.

8.4.1 Jenis Baterai

Seperti yang Anda pelajari di awal, ada dua kelas utama baterai: primer atau tidak dapat diisi ulang, dan sekunder atau dapat diisi ulang. Kecuali jika tugas motor listrik Anda adalah beroperasi di bulan (seperti Lunar Rover yang Anda baca di Bab 3) atau misi khusus lainnya, Anda tidak mungkin memerlukan layanan baterai yang tidak dapat diisi ulang.

Di antara isi ulang, ada baterai timbal-asam dan sisanya. Singkatnya, tidak ada alternatif untuk baterai timbal-asam untuk konverter motor listrik biasa hari ini, karena kerugian dari dua pilihan lainnya jauh lebih besar daripada manfaatnya.

Baterai Nikel-Kadmium

Baterai NiCad adalah jenis yang akan Anda gunakan di komputer portabel, alat cukur, atau alat, dan tidak diragukan lagi lebih baik daripada baterai timbal-asam dalam kemampuannya untuk menghasilkan energi dua kali lebih banyak untuk satu pound; mereka juga memiliki siklus sekitar 50% lebih lama. Tetapi pasangan elektrokimia nikel-kadmium memberikan tegangan yang jauh lebih rendah per sel (1,25 volt), yang berarti Anda membutuhkan lebih banyak sel untuk mendapatkan tegangan yang sama. Jauh lebih mahal (empat kali lipat dan lebih tinggi). Ada lebih sedikit sumber untuk baterai aplikasi motor listrik tugas berat (kadmium sendiri lebih sulit diperoleh dan telah menimbulkan masalah lingkungan). Terakhir, sebagian besar pengembangan teknologi nikel-kadmium berlangsung di luar negeri (Inggris, Prancis, Jerman, Jepang).

Baterai Nikel-Besi

"Baterai Edison" yang digunakan pada motor listrik awal 1900-an bahkan merupakan pilihan yang lebih buruk. Ini menawarkan siklus hidup yang lebih tinggi (sekitar dua kali lebih banyak), memberikan sedikit lebih banyak energi pound untuk pound (sekitar sepertiga lebih banyak), dan sangat kasar secara mekanis. Tetapi pasangan elektrokimia nikel-besi hanya memberikan tegangan per sel sedikit lebih banyak daripada NiCad (sekitar 1,3 volt) dan memiliki resistansi internal yang tinggi dan tingkat pelepasan sendiri (10% per minggu). Kinerjanya menurun secara signifikan dengan suhu (baik di atas dan di bawah 78° F). Ini jauh lebih mahal (empat kali lipat ke atas), hanya ada sedikit sumber untuk mereka (hanya dibuat di Eropa dan Jepang), dan hanya ada sedikit perkembangan teknologi yang terjadi.

Semua pengembangan baterai yang terjadi di lab (yang akan kita bahas secara singkat nanti di bab ini) sangat bagus, tetapi Anda tidak dapat membelinya. Pilihan Anda bermuara pada baterai timbal-asam tua yang baik. Tapi semua baterai timbal-asam tidak diciptakan sama. Membatasi diskusi kita ke ukuran yang lebih besar yang cocok untuk aplikasi motor listrik tugas berat, Anda memiliki tiga jenis untuk dipilih.

Memulai Baterai

Ini adalah jenis yang digunakan untuk menghidupkan mesin di setiap kendaraan mesin pembakaran internal di dunia saat ini. Baterai starter rata-rata hanya menghabiskan beberapa detik untuk memutar motor starter listrik kendaraan Anda dan sisa waktunya diisi ulang oleh alternator di bawah beban paling ringan (kecuali jika Anda mengemudi di malam hari di tengah hujan dengan semua aksesoris listrik menyala). Meskipun sangat bagus untuk aplikasi "keluaran daya tinggi untuk waktu yang singkat" ini, mereka tidak cocok untuk digunakan di motor listrik Anda (selain untuk memberi daya pada aksesorinya) karena jenis baterai ini memiliki pelat tipis yang hanya dimuati dengan ringan. Digunakan dalam motor listrik, ini hanya akan memberi Anda masa pakai siklus dalam terpendek Anda akan beruntung mendapatkan 100 siklus darinya. Bahkan dalam perjalanan singkat, jika Anda menginjak pedal akselerator terlalu keras (atau terlalu lama), Anda akan beruntung bisa kembali ke jalan masuk Anda sendiri.

Baterai Siklus Dalam

Ini adalah apa yang Anda butuhkan. Batas bawah kisaran kapasitas mungkin masuk ke jenis kereta golf atau kendaraan listrik kecepatan rendah. Ujung atas rentang kapasitas masuk ke motor listrik Anda. Mereka juga dapat ditemukan di katalog

produsen di bawah judul Kelautan. Semua ini adalah langkah maju dari memulai baterai; mereka memiliki pelat yang jauh lebih tebal dan dirancang khusus untuk siklus hidup pelepasan muatan dalam di stadion baseball 400 hingga 800 siklus (dan lebih tinggi).

Baterai Industri

Monster-monster ini masuk ke palet *forklift* dan aplikasi pembangkit tenaga angin atau matahari stasioner. Meskipun mereka memberikan hasil kedalaman pelepasan yang luar biasa di atas kertas, memiliki 1.000 siklus dan masa pakai siklus yang lebih tinggi, dan membuat penyeimbang yang hebat untuk *forklift*, berat dan ukurannya umumnya membuat mereka tidak cocok untuk aplikasi motor listrik. Misi Anda adalah mengejar baterai siklus dalam yang mungkin ditemukan di bawah judul katalog kereta golf, kelautan, atau kendaraan listrik.

8.4.2 Konstruksi Baterai

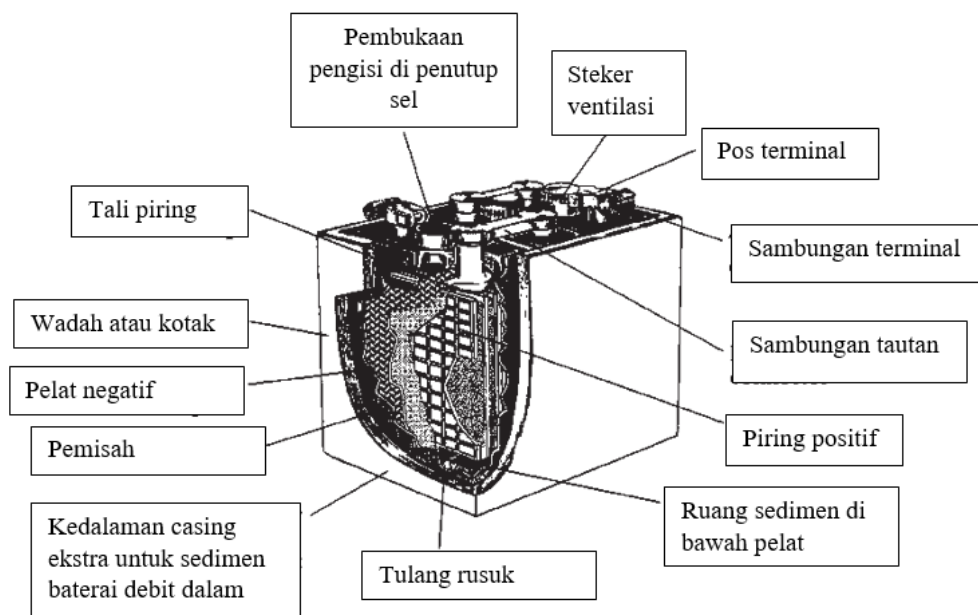
Dari sudut pandang manufaktur, baterai timbal-asam adalah salah satu hal yang paling efisien. Sementara timbal jelas merupakan sesuatu yang tidak Anda inginkan dalam apa pun yang Anda minum atau konsumsi (Anda bahkan tidak menginginkannya di cat di dinding di dalam rumah Anda), EPA menyukai baterai timbal-asam karena lebih dari 97% dari baterai ini didaur ulang dan 100% dari setiap baterai dapat didaur ulang.

Konstruksi baterai memungkinkan hal ini. Baterai timbal bekas dikumpulkan di titik pengumpulan, dan kemudian dikirim ke spesialis peleburan tempat baterai tersebut dibongkar. Timbal dilebur, dimurnikan, dan dikirim ke produsen baterai dan pengguna lain; plastik digiling dan dikirim ke pengolah ulang yang membuatnya menjadi produk plastik baru; dan asam dikumpulkan dan digunakan kembali atau diolah. Bagaimana baterai dibuat memengaruhi baterai mana yang Anda beli. Gambar 8.3 menunjukkan detailnya.

Pelat baterai

Pelat baterai dibentuk pada kisi-kisi seperti kawat dari paduan timbal (antimon kadang-kadang digunakan untuk mengeraskan timah); oksida timbal seperti lumpur, asam sulfat, dan pasta air diterapkan pada mereka dan dibiarkan mengeras. Ekspander ditambahkan ke pelat katoda negatif yang mencegahnya berkontraksi saat digunakan. Pelat kemudian "dimasak" dalam larutan asam sulfat encer dengan mengirimkan muatan pembentuk melalui mereka yang mengubah pelat anoda positif menjadi bahan timbal dioksida cokelat-coklat yang sangat berpori, dan mengubah pelat katoda negatif menjadi timah spons abu-abu. Pelat

positif dan negatif dirangkai menjadi "sandwich" dengan pemisah, lembaran tipis bahan isolasi listrik yang masih berpori ke elektrolit, dan ditahan di dalam baterai dengan tali pelat. Seberapa tebal dan berat pelat ini, dikombinasikan dengan efisiensi desainnya (berapa banyak area yang terbuka), dan seberapa efisien pemisah, semuanya secara kolektif menentukan kapasitas baterai Anda. Sementara cara awal untuk mengetahui kapasitas baterai adalah dengan mengambalnya, satu-satunya cara nyata untuk mengetahuinya adalah dengan menggunakannya.



Gambar 8.3 Konstruksi Baterai Timbal-Asam.

Kasing atau Wadah

Kasingnya adalah wadah persegi panjang satu bagian plastik atau karet keras dengan tiga atau enam sel yang dicetak ke dalamnya. Setiap sel memiliki rusuk yang dibentuk di sepanjang lebar bagian bawahnya atau di bawah dimensi panjang baterai (lihat Gambar 8.3). Pelat dipasang pada sudut yang tepat ke rusuk, yang tujuan multifoldnya adalah untuk mengeraskan kasing, menopang pelat dengan cara non-listrik-konduktif, dan bertindak sebagai saluran pengumpulan untuk bahan aktif yang dilepaskan dari pelat. Baterai dapat digunakan sampai bahan aktif yang dilepaskannya membuat tumpukan yang pada akhirnya mencapai pelat dan membuatnya menjadi pendek. Semua hal lain dianggap sama, baterai yang lebih dalam akan hidup lebih lama dari baterai yang dangkal karena memungkinkan tumpukan bahan aktif yang lebih tinggi terakumulasi. Baterai industri yang lebih besar dapat dibuat ulang secara hemat hanya dengan membukanya, membuang

bahan aktif bekas, membersihkan residu sel, dan mengganti pelat, pemisah, dan elektrolit.

Konektor atau Tautan Sel

Konektor ini dapat berada di dalam baterai (melalui atau melewati partisi sel) atau di luar baterai melalui konektor penghubung (lihat Gambar 8.3). Konektor eksternal yang ditemukan pada jenis baterai yang lebih lama dan lebih besar memungkinkan Anda mengakses pengukuran voltase sel individual; peningkatan keandalan baterai telah membuat pengukuran sel individu menjadi kurang diperlukan dengan baterai modern.

Pembukaan Pengisi dan Colokan Ventilasi

Bukaan ini memungkinkan Anda untuk mengisi ulang baterai Anda dengan air suling atau larutan elektrolit. Sumbat ventilasi disekat untuk memungkinkan gas keluar tetapi bukan percikan elektrolit yang tidak disengaja. Sumbat ventilasi individu diulir untuk disekrup ke lubang ventilasi tetapi mungkin juga diikat ke beberapa tutup press-fit pembuka. (Catatan: Sebagian besar baterai yang digunakan saat ini untuk konversi bebas perawatan, yang berarti Anda bahkan tidak perlu mengisi ulang baterai dengan air. Bahkan kendaraan listrik berkecepatan rendah seperti GEM menggunakan baterai bebas perawatan untuk pengalaman konsumen yang lebih mudah. Ini lebih lazim di kereta golf.)

Pos Terminal

Ini mungkin lancip atas, terminal samping, atau tipe-L pada baterai awal, tetapi biasanya tipe stud pada baterai pelepasan dalam (tiang tugas berat dengan baut dan mesin cuci). Ini karena arus tinggi melunakkan tiang terminal utama, dan terminal atas lancip mungkin menyusut dari konektornya dan menyebabkan peningkatan resistensi dan masalah intermiten.

8.4.3 Distribusi Baterai dan Biaya

Biaya telah dihindari dengan cermat sampai saat ini, karena "harga eceran yang disarankan" baterai seperti harga stiker mobil Anda tidak ada hubungannya dengan harga dunia nyata.

Pabrikan baterai memiliki jaringan distribusi internasional bertingkat. Ini berarti mereka memiliki distributor grosir dan eceran di seluruh Amerika Serikat dan di seluruh dunia. Mereka menjual ke distributor ini dalam grosir grosir 750 baterai sekaligus, dll. Distributor grosir atau spesialis baterai pada gilirannya akan menjual ke pengecer seperti dealer kereta golf, dll. Ada biaya pengiriman yang terlibat di

setiap langkah, bersama dengan apa pun yang berlaku aturan atau kondisi lokal yang ada.

Intinya adalah, harga bisa dinegosiasikan, dan Anda harus mengharapkan diskon 25 hingga 30 persen dari harga jual eceran yang disarankan, terutama untuk pesanan baterai 16 hingga 24 Anda. Seperti halnya item tiket besar lainnya, membayar untuk berbelanja. Meskipun Anda dapat membuka direktori telepon Anda dan menemukan pengecer baterai di hampir semua kota ukuran sedang dan lebih tinggi di Amerika Serikat, mungkin membayar untuk berkendara ekstra 100 mil atau lebih untuk berurusan dengan dealer baterai volume besar di kota terbesar di dekat Anda. Di sisi lain, jika penawaran terbesar dealer lokal Anda adalah enam baterai sekaligus dan Anda masuk dengan tawaran untuk 20 baterai, Anda mungkin memiliki pengaruh negosiasi yang nyata.

Dapatkan setidaknya tiga tawaran untuk model baterai yang sama dari produsen yang sama, dan bandingkan. Jika Anda ingin menjadi lebih kreatif dengan mengorbankan lebih banyak waktu, bandingkan beberapa produsen dengan cara ini. Pastikan untuk menambahkan semua pengiriman, penyiapan, setoran (kami akan membahas ini selanjutnya), dan biaya pajak sehingga Anda memiliki perbandingan yang baik dalam tawaran Anda. Misalnya, biaya pengiriman dari sumber nonlokal mungkin membatalkan keunggulannya dibandingkan sumber lokal dengan harga lebih tinggi.

8.4.4 Deposit Inti Baterai

Negara bagian dan lokalitas tertentu melakukan lebih dari sekadar menyarankan Anda mendaur ulang baterai Anda. Dealer diharuskan menagih Anda "setoran inti" pada baterai Anda yang akan dikembalikan kepada Anda saat Anda membawanya untuk didaur ulang, versi yang lebih besar dari deposit botol soda. Jelas, ini menambah harga pembelian baterai Anda. Alasan lain mengapa satu harga tidak dapat dikutip.

Sisi lain dari ini adalah baterai Anda yang tidak lagi dapat digunakan memiliki nilai memo intrinsik. Seperti mobil bekas Anda ketika Anda membeli yang baru, baterai bekas Anda memiliki nilai tukar yang kecil namun jelas. Kutipan harga komoditas timah dari koran lokal Anda dikalikan dengan berat baterai Anda memberi Anda perkiraan angka yang harus dihadapi.

8.4.5 Panduan Pemasangan Baterai

Jika Anda memikirkan apa yang akan Anda lakukan dengan baterai Anda, itu akan membantu Anda selama proses instalasi. Secara umum, ada tiga bidang yang menjadi perhatian:

- **Keamanan**—Ini harus selalu menjadi nomor satu. Anda tidak ingin baterai longgar di kursi belakang menjadi peluru kendali jika berhenti mendadak, atau cerutu Paman Fred membakar motor listrik Anda saat ia dengan santai memeriksanya saat sedang diisi ulang, atau perawatan baterai berkala memenuhi lubang asam yang terbakar di jok interior Anda. Anda ingin memasang baterai Anda di lokasi (atau lokasi) di mana baterai dapat diikat dengan aman dan berventilasi baik; di mana mereka tidak berbahaya bagi siapa pun atau apa pun dan sebaliknya; dan di mana mereka dapat dijangkau dengan mudah untuk diservis. Inilah keuntungan memilih sasis pikap sebagai platform konversi motor listrik—ini sudah menangani semua aspek ini.
- **Kencang**—Semua sambungan listrik dan mekanik baterai harus kencang saat Anda menyelesaikan pemasangan, dan Anda harus memeriksanya kembali secara berkala. Sambungan listrik yang longgar menyebabkan berkurangnya efisiensi, mengundang korosi, dan menciptakan masalah listrik terputus-putus lainnya yang tidak perlu. Bersihkan semua sambungan sebelum mengencangkannya. Sambungan mekanis yang longgar berarti penuaan dini pada baterai Anda dengan menggetarkannya sampai mati. (Omong-omong, kencang berarti pas, atau pas dengan mesin cuci kunci—sesuatu yang tidak akan putus nanti saat Anda mencoba melepaskannya dalam bentuk berkarat.)
- **Pengukuran dan Penyiraman**—Idealnya, Anda ingin memasang sistem untuk meminimalkan tenaga kerja servis saat Anda memasang baterai. Bahkan jika Anda tidak melakukan ini pada awalnya, rencanakan instalasi Anda untuk mengakomodasinya sebagai retrofit di masa mendatang. Pengukuran listrik relatif mudah—Anda hanya memerlukan titik pengambilan tegangan dan arus yang nyaman dan meter analog, meter digital, atau sirkuit pengisian otomatis untuk membantu Anda melakukan sisanya. Penyiraman otomatis sedikit lebih sulit tetapi setidaknya melibatkan kemampuan untuk dengan mudah mendapatkan bagian atas baterai Anda — yang berarti baterai Anda tidak berserakan di seluruh bagian dalam konversi motor listrik Anda secara acak.

8.4.6 TLC dan Pemeliharaan untuk Baterai Anda

Perawatan penuh kasih yang lembut dan pemeliharaan baterai Anda akan menghadahi Anda berkali-kali lipat. Yang diperlukan hanyalah rencana, jadwal, dan disiplin untuk melakukannya. Rencananya dimulai dengan buku catatan atau buku catatan. Data yang Anda butuhkan adalah voltase dari baterai (atau dua atau

tiga—bukan seluruh paket), pembacaan odometer, tanggal, dan bagian komentar yang mencantumkan air yang Anda tambahkan dan sesuatu yang tidak biasa yang Anda perhatikan. Jadwalnya mingguan atau dua mingguan. Selain lembar log, ada empat area yang terlibat:

- **Keamanan**—Ini muncul lagi karena penting. Selalu isi ulang baterai Anda di area yang berventilasi baik; jangan merokok, menyalakan korek api, atau membuat percikan listrik di sekitar mereka; dan sangat menganjurkan semua teman dan pengunjung Anda untuk melakukan hal yang sama. Mengerjakan baterai berarti Anda perlu berinvestasi dalam pelindung mata (kacamata pengaman), sarung tangan karet pelindung, dan pakaian lama yang penampilannya semakin bolong (yup, asam membuat lubang di dalamnya) tidak mengganggu Anda.
- **Air Suling**—(Catatan: Tidak relevan, tetapi beberapa konversi menggunakan baterai yang Anda perlukan untuk mempertahankan ketinggian air.) Air suling uap adalah
- **Satu-satunya jenis air yang ingin Anda masukkan ke dalam baterai Anda.** Tutup saja piringnya; jangan mengisi sel terlalu banyak sampai elektrolit meluap ke bagian atas baterai dan menyebabkan kekacauan. Idealnya, Anda menginginkan tabung dari kendi air Anda, atau cangkir atau gelas kecil dengan cerat tuang, atau corong bersih—sesuatu yang memudahkan Anda menuangkan tanpa tumpah. Jika ada elektrolit yang tumpah, segera bersihkan dan netralkan area tumpahan dan sekitarnya dengan soda kue sesuai petunjuk bagian selanjutnya. Ingatlah bahwa elektrolit baterai adalah asam kuat yang memakan logam, pelapis, pakaian, sepatu, dan orang tanpa diskriminasi.
- **Korosi dan Kekencangan**—Lakukan pemeriksaan visual terhadap baterai Anda, sambungan baterai, dan kompartemen baterai. Lihat, sentuh, dan tarik sesuatu. Bagian atas baterai (dan apa pun di dalam kompartemen baterai) harus tetap bersih dari debu, kotoran, korosi, dan percikan asam baterai. Gigit salah satu dari ini sejak awal. Sikat gigi tua dan sekotak soda kue bekerja dengan sangat baik. Gunakan larutan yang terdiri dari dua sendok makan soda kue yang ditambahkan ke segelas kecil air (perbandingannya satu pon per galon), dioleskan ke bagian atas dan terminal baterai. Jangan pernah menggunakannya di dalam sel baterai—pastikan untuk tetap tertutup rapat selama pembersihan. Rajin dengan baking soda dan sikat gigi akan menetralkan asam dan menjaga baterai tetap bersih. Sentuh dan tarik untuk memeriksa bahwa tidak ada sambungan listrik Anda yang longgar. Kencangkan koneksi yang longgar segera.
- **Pengukuran**—Gunakan voltmeter digital atau hidrometer untuk memberi Anda pembacaan status pengisian daya baterai. Ingatlah untuk memantau baterai Anda dalam kondisi "istirahat", dan cobalah untuk memotret untuk waktu

istirahat yang sama dalam semua pengukuran Anda, atau catat setiap perbedaan.

8.5 Solusi Baterai Terbaik Hari Ini

Anda sudah tahu buku ini merekomendasikan baterai timbal-asam sebagai solusi terbaik untuk konverter motor listrik saat ini. Anda juga tahu jenis baterai timbal-asam apa yang harus dibeli dan banyak tentang karakteristiknya. Pilihan Anda menjadi lebih mudah karena hanya ada sejumlah vendor baterai di wilayah geografis terdekat Anda untuk dipilih. Tidak seperti membeli motor, pengontrol, dan suku cadang lainnya, Anda tidak akan memesan baterai melalui pos. Pilihan Anda pada dasarnya tergantung pada siapa yang menawarkan harga terbaik untuk baterai yang Anda inginkan, dan kapasitas, peringkat, voltase, ukuran, dan berat yang Anda butuhkan.

Sedikit menyimpang dari bab-bab sebelumnya, kami akan merekomendasikan satu produsen, kemudian melihat beberapa penawaran alternatif dari lini mereka untuk memberi Anda cita rasa dari pilihan nyata yang akan Anda temui. Baterai yang direkomendasikan berasal dari Perusahaan Baterai Trojan di Santa Fe Springs, California. Seperti halnya motor dan pengontrol, jangan membaca sesuatu yang penting tentang penampilannya di sini. Mereka hanya salah satu dari sejumlah besar produsen baterai. Daftar produsen baterai muncul di Bab 12, tetapi dalam kasus ini, distributor baterai mana yang beroperasi di wilayah geografis Anda adalah faktor yang lebih penting.

Sebelum masuk ke baterai yang sebenarnya, mari tambahkan beberapa definisi lagi ke kosakata baterai Anda yang sudah diperluas:

- **Kepadatan Daya (*Orgravimetric Power Density*)**—Juga dikenal sebagai daya titik, ini adalah jumlah daya yang tersedia dari baterai setiap saat (dalam kondisi optimal), diukur dalam watt per pon berat baterai. Ini diterjemahkan langsung ke akselerasi dan kinerja kecepatan tertinggi yang bisa didapatkan motor listrik Anda dari baterainya.
- **Densitas Energi (*Orgravimetric Energy Density*)**—Juga dikenal sebagai energi spesifik, ini adalah jumlah daya yang tersedia dari baterai untuk jangka waktu tertentu (dalam kondisi optimal), diukur dalam watt-jam per pon berat baterai. Ini diterjemahkan langsung ke kisaran kinerja yang dapat diperoleh motor listrik Anda dari baterainya.
- **Densitas Daya Volumetrik**—Ini adalah faktor yang lebih menarik bagi komunitas baterai teknis yang bekerja di berbagai jenis kimia baterai. Ini adalah kepadatan daya yang diukur dalam watt per galon atau watt per kaki kubik volume daripada berat.
- **Densitas Energi Volumetrik**—Begitu juga di sini. Ini adalah kepadatan energi yang diukur dalam watt jam per galon atau watt-jam per kaki kubik—sekali lagi volume, bukan berat.

- Anda akan menemukan ini berguna baik untuk perbandingan bagian ini maupun yang dibuat di bagian "Baterai Masa Depan".

8.5.1 Lima Solusi Baterai Trojan

Perusahaan Baterai Trojan telah berinovasi solusi baterai kereta golf sejak 1950-an; penampilan mereka di sini seharusnya tidak mengejutkan Anda. Baterai kendaraan listrik saat ini jauh lebih unggul daripada baterai satu dekade lalu. Anda dapat memilih dari solusi 6 volt atau 12 volt, dan jaringan distribusi telah berkembang untuk memberi Anda lebih banyak layanan dengan harga yang lebih baik.

Kita akan melihat tiga alternatif 6 volt dan dua 12 volt dari Trojan. Itu Model Trojan T-125—salah satu alternatif 6-volt—ditunjukkan pada Gambar 8.4. Perhatikan konstruksinya yang kokoh, dan tiang terminal tipe stud dengan baut dan mur. Kasus dan konstruksi ini umum untuk semua anggota keluarga di saluran 6 volt ini. Gambar 8.5 menunjukkan unit 12 volt, model case mockup 5SHP yang dipratinjau oleh Trojan pada Burbank Alternate Transportation Expo September 1992. Anda mungkin (atau mungkin tidak) memiliki label motor listrik pada baterai yang Anda beli dari distributor Anda.

Tabel 8.2 memberi Anda rincian dari lima pilihan baterai motor listrik yang direkomendasikan dari Trojan ini. Selain harga jual yang disarankan, ini semua dari data yang dipublikasikan yang bisa Anda dapatkan dari dealer lokal Anda.



Gambar 8.4 Baterai Deep-Cycle 6 Volt Trojan T125.



Gambar 8.5 Trojan 5shp 12-Volt Baterai Deep-Cyclet.

Ini menjabarkan semua yang Anda butuhkan, tetapi belum memberikannya kepada Anda dalam bentuk yang Anda butuhkan. Gambar 8.6, juga diambil dari data yang dipublikasikan, menunjukkan grafik kinerja kapasitas versus waktu yang sebenarnya; perhatikan kinerja serupa dari grup data 6 volt dan 12 volt. Anda dapat menggunakan data ini untuk menentukan hasil penerapan beban aktual ke salah satu baterai yang Anda pilih. Ini adalah contoh nyata dari persamaan yang ditunjukkan sebelumnya:

$$\text{Siklus Hidup Baterai} = Kd / \text{Kedalaman Discharge In}$$

Dalam angka ini Kd adalah sekitar 28.000, jadi ini menunjukkan bahwa teknologi Trojan mendorong baterai siklus-dalamnya ke area baterai industri. Dengan kata lain, model T-105 dan anggota keluarga lainnya adalah baterai *deep-discharge* tugas berat.

Untuk mengetahui berapa banyak baterai yang Anda butuhkan, pertama-tama tentukan voltase di mana Anda akan mengoperasikan konversi motor listrik Anda. Tegangan ini dibuat dari pertukaran sasis, motor, dan pengontrol Anda, dan sangat dipengaruhi oleh penggunaan akhir, jangkauan terjauh, atau akselerasi tercepat.

Tujuan kami di sini adalah untuk memilih baterai terbaik untuk konversi pickup sebenarnya Bab 10, sehingga tegangan operasi 120 volt telah dipilih. Dengan asumsi Anda menginginkan semua baterai Anda dari jenis yang sama, dan juga bahwa Anda tidak akan menggunakan kombinasi kabel seri-paralel yang rumit, ini berarti Anda akan memerlukan 20 baterai 6-volt atau 10 dari 12-volt. baterai, semua kabel secara seri untuk mendapatkan 120 volt. Saat Anda memasang kabel baterai secara seri, kapasitas total yang tersedia—total ampere-jam—sama

dengan yang tersedia dari satu baterai. Total watt-jam hanyalah tegangan total dikalikan total ampere-jam. Berat total, kaki kubik, dan biaya hanyalah jumlah dari 10- atau 20- set baterai individu. Data ringkasan Tabel 8.3 ditata dalam format yang jauh lebih bermanfaat.

Pilihan Anda sebenarnya cukup sederhana dan logis pada saat ini. Perhatikan bahwa opsi 6 volt memberi Anda mulai dari 26,0 hingga 29,3 kWh energi-total jam kilowatt baterai terpasang. Dua pilihan 12 volt memberi Anda 14,0 atau 19,8 kWh. Melihat kolom bobot, pilihan 6 volt memiliki berat dari 1.220 hingga 1.420 lbs., sedangkan pilihan 12 volt memiliki bobot 600 atau 860 lbs. Dalam total kaki kubik, meskipun angka ini jelas akan diterjemahkan ke ruang pemasangan aktual yang lebih besar yang dibutuhkan, baterai 6 volt membutuhkan dari 9,6 hingga 9,8 kaki kubik, sedangkan baterai 12 volt membutuhkan 4,9 atau 6,1 kaki kubik.

Biaya adalah masalah lain. Beberapa angka harus digunakan di sini, jadi harga daftar yang disarankan pabrik pada Agustus 2008 dipasang, didiskon 30% (70% dari daftar), dan dikalikan dengan angka 10 atau 20 yang sesuai untuk rangkaian baterai. Seperti disebutkan sebelumnya, biaya Anda akan bervariasi dari angka-angka ini, jadi lihatlah biaya di sini hanya untuk tujuan perbandingan.

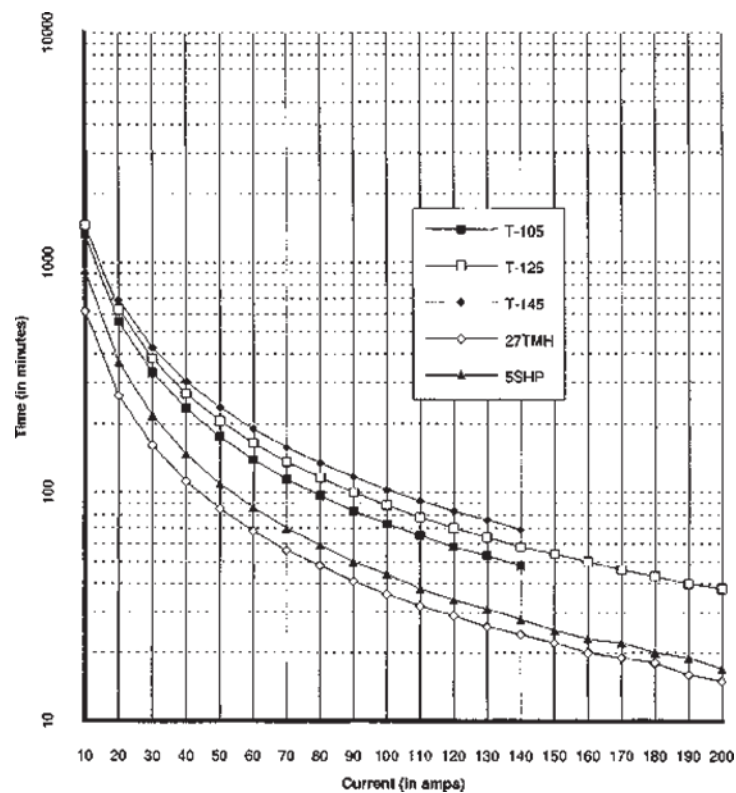
Dengan disclaimer biaya keluar dari jalan, kita dapat melanjutkan. Jika Anda menginginkan jangkauan terbaik, pilih energi on-board tertinggi. Jika Anda menginginkan akselerasi paling banyak, pilih bobot yang paling rendah. Jika biaya merupakan faktor, pilihlah biaya yang paling rendah. Karena semua ini biasanya merupakan faktor, membagi energi dan biaya berdasarkan berat biasanya merupakan cara yang baik untuk melihat apa yang memberi Anda paling sedikit. Tabel 9.4 melakukan ini dan memberi Anda dua pemenang yang jelas: T-125 untuk grup 6 volt, dan 27TMH untuk sisi 12 volt.

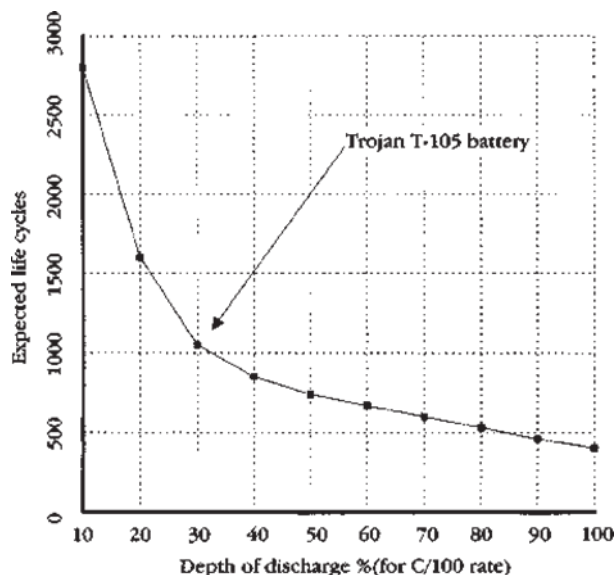
Tabel 8.2 Perbandingan Baterai Kendaraan Listrik Trojan yang Direkomendasikan

Model Baterai Trojan	Tegangan Nominal	Kapasitas 20AH	Menit @25 Amps	Menit @75 Amps	Kapasitas 3AH	Berat dalam Pound	Kepadatan Energi watt-jam/lb	Panjang	Lebar	Tinggi	Harga Daftar yang Disarankan
T-105	6 volt	217	419	107	161	61	15.5	10.375	7.125	11.188	107.76
T-125	6 volt	235	477	125	174	66	15.6	10.375	7.125	11.188	115.67
T-145	6 volt	244	530	145	181	71	15	10.375	7.125	11.5	168.85
27TMH	12 volt	117	200	50	87	60	15.2	12.75	6.75	9.75	106.86
5SHP	12 volt	165	272	78	122	86	14.2	13.563	6.75	11.5	220.5

Tabel 8.3 Perbandingan *Trade-Off* Baterai Kendaraan Listrik Trojan

Model Baterai Trojan	Tegangan Nominal	Kualitas dalam Kendaraan	Tegangan Kendaraan	Baterai Total Kapasitas AH	Baterai Total Watt-Jam	Baterai Berat Total	Baterai Total Kaki Kubik	Baterai y Total Biaya @ 70%
T-105	6 volts	20	120	217	26040	1220	9.57	1508.64
T-125	6 volts	20	120	235	28200	1320	9.57	1619.38
T-145	6 volts	20	120	244	29280	1420	9.84	2369.90
27TMH	12 volts	10	120	117	14040	600	4.86	748.02
5SHP	12 volts	10	120	165	19800	860	6.09	1543.50

**Gambar 8.6** Baterai siklus-dalam Trojan 6-volt dan 12-volt waktu keluarga versus kurva sewa saat ini.



Gambar 8.7 Kedalaman debit versus siklus hidup yang diharapkan untuk baterai Trojan T-105 y.

Perhatikan bahwa T-125 memberi Anda energi sekitar 1 kWh lebih sedikit, menghemat 100 lbs., dan biaya Rp 11.250.000 lebih murah daripada saudaranya T-145 yang lebih besar—ini adalah kesepakatan terbaik dalam grup 6 volt dan pilihan terbaik untuk pickup Bab 10 konversi. Di sisi 12 volt, 27TMH memberi Anda energi 40 persen lebih sedikit pada 14,0 kWh, tetapi menghemat 260 lbs. dan harganya kurang dari setengah dari saudara 5SHP yang lebih besar. Ini akan menjadi solusi ideal untuk kendaraan yang lebih ringan. Atau jika Anda hanya ingin berkeliling lingkungan Anda di truk pickup Bab 10 dan memenangkan semua balapan drag lokal, maka sepuluh baterai 27TMH dengan berat 600 lbs. menghemat 720 lbs. lebih dari 20 solusi baterai T-125 6 volt.

8.6 Solusi Baterai Terbaik Masa Depan-Hari ini

Jika Anda mengambil buku baterai (atau membaca bab baterai di buku apa pun) dari dekade 1900-an, menarik untuk dicatat bahwa setiap orang menyatakan baterai terbaik di masa depan "sudah dekat." Kenyataannya sedikit berbeda. Kenyataannya adalah bahwa segala sesuatunya bergerak sangat lambat di dunia baterai, peristiwa biasanya diukur dalam beberapa dekade, bukan tahun. Jadi, sementara bagian ini akan berbicara tentang baterai terbaru dan terbaik, jangan berharap semua ini di dealer baterai Anda segera.

Tabel 8.4 Adonan Trojan dan Pertukaran Akhir

Trojan	Total kwh/lbs	Kriteria Keputusan Energi	Total Rp/lbs	Kriteria Keputusan Biaya
Model Adonan	21.34		1.237	
T-105	21.36	Energi 6 volt tertinggi y/lb	1.227	Biaya 6 volt/lb . terendah
T-125	20.62		1.669	
T-145	23.40	Energi 12 volt tertinggi y/lb	1.247	Biaya 12 volt terendah/lb
27TMH	23.02		1.795	

Sementara timbal dan asam sulfat tidak akan menjadi pilihan awal saya untuk proyek konstruksi apa pun, salah satu elemen terberat yang digabungkan dengan salah satu senyawa dan biaya semuanya sangat membebani baterai timbal-asam. Faktanya, kesesuaian timbal-asam untuk begitu banyak aplikasi telah sangat berkurang bahkan kebutuhan untuk mencari alternatif.

Namun kesadaran baru-baru ini untuk menyelamatkan lingkungan, mengurangi ketergantungan pada minyak, dan *lets-try-electric* telah mengubah polanya. Laboratorium pemerintah, industri, dan universitas di seluruh planet ini mencerminkan perubahan ini. Menuangkan uang untuk suatu masalah tidak pernah menjamin solusi, tetapi menjamin bahwa lebih banyak lagi yang akan terjadi, dan sebagian dari apa yang terjadi akan berguna dan baik. Mari kita lihat tren baterai masa depan dimulai dengan konsorsium yang mendorong bagian luar selubung baterai.

Pada tahun 1991, Ford, *General Motor*, dan Chrysler (bergabung dengan Departemen Energi dan Institut Riset Tenaga Listrik) memiliki ide yang lebih baik, Konsorsium Baterai Lanjutan Amerika Serikat (USABC). Singkatnya, Undang-Undang Penelitian, Pengembangan dan Demonstrasi Kendaraan Listrik dan Hibrida tahun 1976 mengakui perlunya pengembangan baterai; Departemen Energi menetapkan dan mendanainya; dan USABC memfokuskan upaya tersebut.

Hasil jangka pendeknya adalah bahwa sejumlah besar proyek diasah menjadi hanya tiga bidang penelitian baterai berenergi tinggi yang dapat memberikan jangkauan kendaraan dan keunggulan daya yang signifikan: polimer litium, litium metal sulfida, dan hidrida logam nikel. Beberapa baterai ini dianggap yang terbaik dari teknologi baterai terbaik di pasar.

8.6.1 Baterai Masa Depan: Gambaran Besar

Tabel 8.5, diadaptasi dari makalah SAE, menunjukkan keseluruhan cerita secara sekilas. Perhatikan bahwa 11 teknologi baterai yang berbeda ada dalam daftar, dan

mereka tidak sama. Dalam istilah yang sangat umum, densitas energi dan densitas daya yang lebih tinggi diinginkan dan terlihat mudah dilakukan. Mendapatkan keduanya pada saat yang sama, bersama dengan masa pakai yang tinggi dan biaya rendah dalam baterai yang beroperasi secara efisien pada rentang suhu, dapat diproduksi dan didukung oleh infrastruktur, dan tidak membahayakan orang atau lingkungan, telah terbukti sedikit lebih sulit dipahami. Perhatikan bahwa tidak ada baterai yang dikembangkan sejauh ini (bahkan baterai timbal-asam yang telah dicoba dan terbukti) bahkan mendekati nilai energi spesifik teoretisnya. Perjalanan kita masih panjang.

Timbal-asam

Uang besar yang terlibat dalam bisnis baterai asam timbal membuat beberapa perbaikan besar pada baterai timbal-asam pada awal 2000-an lebih unggul dari rekan-rekan mereka pada 1990-an. Sepanjang jalan menuju energi spesifik dan daya spesifik yang lebih tinggi, baterai timbal-asam berevolusi untuk menambahkan penyegelan sebagai opsi biasa. Meskipun biayanya lebih tinggi, itu kurang efisien (dibandingkan kenyamanan tidak menyiram). Aliran melalui (tipe konvensional yang biasa Anda gunakan) telah ditingkatkan dengan ketebalan pelat yang lebih besar, pemisah yang lebih baik, dan larutan elektrolit dengan berat jenis yang lebih tinggi). Pilihan lain yang tersedia adalah tubular (perbaikan elektroda) dan gel (perbaikan elektrolit, yang telah saya gunakan di beberapa kendaraan listrik yang pernah saya tangani).

Nikel-Kadmium

Mendekati timbal-asam hari ini, jenis baterai ini menjanjikan untuk menjadi lebih baik di masa depan. Keuntungannya dibandingkan timbal-asam saat ini (penurunan kapasitas yang lebih sedikit di bawah arus debit tinggi, siklus hidup yang lebih tinggi, tingkat *self-discharge* lebih lambat, daya simpan jangka panjang yang lebih baik, dan peningkatan kinerja suhu rendah) akan terus menyediakan pasar untuk mendanai pengembangan yang bertujuan untuk meningkatkan kelemahannya atas timbal-asam: biaya yang lebih tinggi dan masalah kadmium terkait lingkungan.

Hidrida Logam Nikel

Alter ego ramah lingkungan untuk baterai nikel-kadmium juga lebih unggul dalam energi spesifik dan perbandingan daya tertentu, dan harus menjadi baterai alkaline pilihan di masa depan (Gambar 8.8). USABC tentu berpikir demikian dan menginvestasikan dana penelitian dan pengembangannya untuk teknologi ini.

Selain itu, ketika berbicara tentang baterai hidrida logam nikel, studi Ron Freund di bagian berikutnya memberi tahu semua orang bagaimana baterai kelas menengah bertahan dalam ujian waktu. Secara pribadi, RAV4 motor listrik adalah motor listrik paling andal untuk membawa saya dari White Plains, New York ke Manhattan dan kembali ke White Plains, New York. Itu seharusnya menjelaskan semuanya, tetapi mari kita dengar tentang laporan Ron tentang pengalamannya dengan RAV4.

Litium Polimer

Energi spesifik dan nomor daya spesifik baterai ini tidak menimbulkan apa pun selain kecemburuan dari para pesaingnya dan antisipasi yang menggiurkan dari para pendukungnya. Seluruh kelompok lithium telah menunjukkan harapan besar di laboratorium, dan baterai polimer lithium yang lebih kecil telah sangat mengesankan pengguna di industri komputer. Tetapi lithium masih harus memenuhi janjinya ketika dikemas dalam ukuran motor listrik raksasa, ekonomis, dan cocok untuk memberi daya (lihat Gambar 8.9). Nantikan perkembangan selanjutnya di sini—USABC pasti akan melakukannya.

Tabel 8-5 Perbandingan Trade-Off Baterai Kendaraan Listrik Masa Depan

Jenis baterai	Tegangan Sel Nominal (volt)	Rentang Suhu Operasi (derajat C)	Siklus hidup	Energi Spek Teoretis (wh/lb)	Energi Spek Tingkat 3 Jam (wh/lb)	Densitas Energi (kwh/cuft)	Daya Spesifik Pulsa 30 detik (watt/lb)	Densitas Daya Pulsa 30 detik (kw/cu ft)
Asam Timbal	2.1	35 – 70	600	79.5	15.9	2.55	72.7	8.50
nikel kadmium	1.25	30 – 50	2000	99.1	25.0	3.40	86.4	9.35
Hidrida Logam Nikel	1.4	20 – 60	600	84.1	29.5	4.96	68.2	11.33
Seng nikel	1.6	40 – 65	250	155.0	27.3	2.83	59.1	2.83
Besi Nikel	1.25	40 – 80	800	121.4	22.7	3.40	52.3	6.51
Natrium Sulfur	2.08	300 – 400	350	345.5	38.6	3.26	54.5	5.10
Natrium Nickel Klorida	2.59	250 – 350	1000	360.0	59.1	4.81	76.3	6.37
seng bromin	1.8	0 – 45	500	194.5	31.8	1.98	38.6	3.26
Seng Udara	1.62	25 – 65	70	595.5	59.1	1.84	22.7	1.84
Lithium Besi Disulfidafi	1.66	400 – 450	500	295.5	75.0	6.80	170.5	1.56
Litium Polimer	3.5	0 – 100	300	248.2	72.7	7.36	90.9	5.95



Gambar 8.8 Baterai Nikel Metal Hidrida



Gambar 8.9 Baterai lithium siap digunakan untuk kecepatan.

Natrium-sulfur

Teknologi ini memiliki pendukung kuat di Inggris, Jerman, Jepang, Kanada, dan Amerika Serikat. Ini bagus karena lawannya memiliki hari lapangan terus menerus hanya dengan memberi label dan menggunakan taktik menakut-nakuti. Ya, natrium mudah terbakar di udara. Ya, belerang juga ada di kepala korek api. Ya, mempertahankan "botol termos" pada 350° C untuk menampung elektroda natrium dan belerang cairnya serta elektrolit beta alumina tidak efisien. Ya, itu bisa meledak dan/atau melakukan hal-hal buruk jika tertusuk dalam suatu kecelakaan. Begitu juga kendaraan bermesin pembakaran dalam. Di sisi lain, ini terus menjadi salah satu sistem baterai canggih yang paling menjanjikan untuk propulsi motor listrik; energi spesifik dan nomor daya spesifiknya jauh lebih unggul daripada baterai timbal-asam; dan produksi baterai pabrik percontohan telah dimulai. Sementara banyak masalah masih harus dipecahkan, mungkin produksi berbiaya rendah yang terbesar di antara mereka, natrium belerang adalah teknologi panas dalam lebih dari satu cara.

Natrium klorida logam

Jika natrium belerang besar, maka semua keuntungannya pada suhu operasi yang lebih rendah dengan energi spesifik yang masih lebih baik dan nomor daya spesifik harus lebih besar lagi. Dan teknologi baterai natrium klorida logam. Lemparkan ke dalam sel yang dapat dirakit dalam keadaan kosong, memiliki tegangan sirkuit terbuka yang lebih tinggi dan karakteristik mode beku/cair dan kegagalan yang lebih baik daripada natrium sulfur, dan Anda memiliki pemenang sejati.

Lithium Besi Disulfida

Janji baterai lithium-besi disulfida di sisi suhu tinggi sama-sama menggiurkan. Nomor energi spesifik baterai ini adalah yang terbaik dari semuanya, dan nomor daya spesifiknya meninggalkan semua yang lain dalam debu.

Ion lithium

Ini harus menjadi baterai jarak jauh paling populer di pasaran saat ini (Gambar 8.10). Kemajuan teknologi ini menjadikannya solusi terbaik berikutnya untuk masa kini dan masa depan. Ion litium bergerak antara anoda ke katoda selama pelepasan dan katoda ke anoda selama pengisian. Ini sangat populer di elektronik konsumen dan sekarang alat-alat listrik. Ringan, memiliki degradasi energi yang lambat dan tidak ada masalah memori.

A123 Systems dari Watertown, Massachusetts telah mengembangkan baterai lithium ion yang luar biasa yang digunakan dalam teknologi hybrid plug-in dari Hymotion™ menggunakan bahan kimia Nanophosphate™ yang dikoordinasikan dengan Departemen Energi AS. Ini sedang digunakan dalam bus transit listrik hibrida (bus Orion), pesawat terbang ketika pesawat merapat di bandara untuk daya dan akan segera di mobil listrik hibrida sehingga mereka bahkan bisa lebih efisien daripada sekarang. Baru-baru ini dikembangkan sepeda motor listrik bernama KillaCycle yang menggunakan baterai A123. Itu melakukan balapan yang ditampilkan di acara kabel Planet Green dan melaju 168 mph dalam 7,824 detik. Bill Dube (Pemilik) dan timnya harus bangga dengan pencapaian mereka.

8.6.2 Baterai dan Pengalaman Mobil Listrik RAV4

Ron mengakui bahwa jelas motor listrik RAV4 paling cocok untuk mereka yang berkendara kurang dari 100 mil per hari.

Sejarah Singkat

Pada tahun 1997, motor listrik RAV4 dibuat oleh *Toyota Motor Corporation* sebagian besar untuk *California Air Resources Board (CARB) Zero Emissions*

Mandate (ZEV). Mobil-mobil itu awalnya disewakan kepada entitas komersial (seperti New York Power Authority) dan utilitas listrik lainnya. Pada tahun 2002 mereka dijual kepada orang-orang untuk sekitar \$ 40.000 masing-masing. Ron menambahkan bahwa kendaraan yang disurvei CARB melaju lebih dari 5 juta ZEV mil. Ini diterjemahkan menjadi kira-kira 2.900 ton lebih sedikit karbon dioksida yang dilepaskan (dengan asumsi CA rata-rata 17 mpg dan 19,54 pon. per galon). Baterai membuat perbedaan pada pengemudi yang mengganti perjalanan bensin tambahan dan mengurangi jejak karbon mereka.



Gambar 8.10 Baterai lithium ion.

Saya menyukai pengalaman berkendara motor listrik RAV4 karena baterainya. Saya biasa mengendarainya ke seluruh NYC dan Westchester County. Sepanjang waktu di New York City dan White Plains, saya ingat orang-orang bertanya kepada saya kapan mereka bisa mendapatkan motor listrik RAV4 dan apakah kendaraan itu memiliki jangkauan yang baik. Yang bisa saya katakan hanyalah, semoga segera dan saya bisa pergi dari White Plains ke pertemuan di New York City dan kembali dengan sekali pengisian daya.

Baterai

Baterai RAV4 adalah nikel metal hidrida (NiMH), yang merupakan peningkatan (kapasitas lebih tinggi) dibandingkan model ECD yang digunakan pada General Motor EV-1 Gen II. Paket traksi tampil mengagumkan, ketika udara didinginkan, lebih dari 100 mil jalan bebas hambatan pada 65 mil per jam dalam kondisi baik. Bahkan dengan lebih dari 100.000 mil, paket ini masih dapat memberikan performa jalan bebas hambatan yang sama. Bepergian di daerah pegunungan

berarti memasukkan pengeluaran energi sekitar 10 persen untuk setiap ketinggian 1.000 kaki yang didaki. (Regenerasi membantu mengurangi kerugian.)

Memadamkan Kekhawatiran Tentang Degradasi Baterai

Seperti yang kita semua tahu, mobil ketika ditinggalkan untuk waktu yang lama dapat memburuk, dengan pengotoran bahan bakar dan banyak lagi. Dalam mobil listrik, periode non-penggunaan yang lama mungkin melihat penurunan jangkauan maksimal jika teknologi timbal-asam digunakan. (Catatan: Inilah alasan utama mengapa baterai paling populer di pasaran bukan baterai masa depan.) Baterai tersebut memerlukan latihan rutin untuk mempertahankan kemampuannya.

Baterai RAV4 tidak pernah mengalami penurunan jenis ini. Menurut Freund, “Jika ditinggalkan di musim dingin Pennsylvania barat atau di bandara LAX saat pemiliknya pergi, kemampuan penuh segera tersedia setelah dimulainya kembali layanan. Ini jelas jauh lebih lambat daripada hidrogen yang disimpan (untuk perbandingan dengan FCEV).

Secara umum, Toyota membuktikan dengan mobil listrik bahwa baterai harus menjadi masalah dalam hal jangkauan.

“Selanjutnya,” Freund menyimpulkan, “mengingat manfaat keamanan nasional dan lingkungan yang tak terbantahkan dengan mengalihkan bahkan sebagian kecil dari banyak jarak tempuh kami yang digerakkan oleh minyak bumi ke jaringan listrik, dan mengingat kinerja motor listrik RAV4 yang luar biasa dengan baterai NiMH ini adalah tragedi bahwa pilihan ini tidak ada di pasar saat ini. CARB dan Toyota harus merayakan keberhasilan produk ini dan mengambil langkah-langkah untuk memungkinkan warga California memilih apakah akan berkendara dengan bahan bakar minyak atau listrik. Mobil *plug-in* memberikan pilihan itu, dan karena teknologi baterai dan penyimpanan energi terus meningkat, penyertaan listrik dalam transportasi masa depan tidak dapat dihindari.”

BAB IX

PENGISI DAYA DAN SISTEM KELISTRIKAN

Pengisi daya yang efisien adalah bagian tak terpisahkan dari setiap kendaraan listrik.

Charger merupakan bagian yang melekat dan tidak terpisahkan dari setiap sistem aki kendaraan listrik. Mengosongkan dan mengisi ulang baterai Anda adalah sisi berlawanan dari mata uang yang sama; Anda tidak dapat memiliki satu tanpa yang lain. Seperti yang Anda pelajari di Bab 8, bagaimana Anda mengisi ulang baterai Anda menentukan efisiensi langsung dan umur panjangnya. Seperti halnya motor, pengontrol, dan baterai, teknologi juga telah membuat pengisi daya saat ini lebih unggul dari rekan-rekan mereka satu dekade lalu.

Karena motor, pengontrol, baterai, dan pengisi daya Anda juga tidak dapat dipisahkan dari sistem kelistrikan yang menghubungkannya, hal itu juga dibahas dalam bab ini, bersama dengan komponen utama yang diperlukan untuk sisi daya tegangan tinggi, arus tinggi, dan daya rendahnya. Tegangan, sisi instrumentasi arus rendah.

Dalam bab ini Anda akan belajar tentang cara kerja pengisi daya dan jenis-jenis yang berbeda, memenuhi jenis pengisi daya terbaik yang dapat dipilih untuk konversi motor listrik Anda hari ini (digunakan dalam konversi Bab 10), dan melihat kemungkinan perkembangan pengisian daya di masa mendatang. Anda juga akan melihat sistem kelistrikan motor listrik Anda secara mendetail dan mempelajari tentang komponennya sehingga ketika Anda bertemu lagi selama proses konversi Bab 10, mereka akan familier bagi Anda.

9.1 Ikhtisar Pengisi Daya

Bab 8 berurusan dengan pemakaian dan pengisian ulang; sekarang kita akan melihat lebih dekat pada sisi pengisian ulang. Ini adalah keputusan bisnis yang bijaksana untuk menginvestasikan beberapa ratus dolar dalam pengisi daya baterai yang mendapatkan hasil maksimal dari paket baterai yang dapat menghabiskan biaya seribu dolar atau lebih dan mungkin diganti beberapa kali selama periode kepemilikan motor listrik Anda. Pengisi daya yang efisien adalah bagian tak terpisahkan dari setiap motor listrik.

Tujuannya di sini adalah untuk memberi Anda latar belakang singkat dan membawa Anda ke pengisi daya baterai yang direkomendasikan untuk konversi motor listrik Anda dengan sedikit keributan. Anda memiliki tiga pilihan pengisi daya baterai hari ini: buat sendiri, beli pengisi daya *offboard*, atau beli pengisi daya *onboard*. Kami akan melihat setiap area secara bergantian dan memberikan rekomendasi kami. Mari kita mulai

dengan melihat apa yang terjadi selama siklus pengosongan dan pengisian baterai timbal-asam untuk memahami apa yang harus dilakukan oleh pengisi daya baterai.

9.2 Siklus Pengosongan dan Pengisian Baterai

Seperti yang sudah Anda ketahui dari Bab 8, baterai berperilaku berbeda selama pemakaian dan pengisian dua proses kimia yang sama sekali berbeda sedang berlangsung. Baterai juga berperilaku berbeda pada berbagai tahap siklus pengisian. Mari kita mulai dengan melihat baterai yang sebenarnya, lalu lihat spesifikasi siklus pemakaian dan pengisian daya.

9.2.1 Apa yang Dapat Anda Pelajari dari Uji Masa Pakai Baterai

Gambar 9.1 menunjukkan hasil uji siklus-hidup untuk baterai timbal-asam siklus-dalam Trojan 27TMH yang kita lihat di Bab 8. Dua parameter dipantau dibandingkan jumlah siklus: menit pada kapasitas 25 amp, dan akhir pengisian arus.

Pengukuran parameter kapasitas adalah versi sebenarnya dari grafik yang Anda lihat pada Gambar 8.2. Ada lebih banyak goyangan di kurva data baterai asli, tetapi kemiripan antara kedua grafik itu mencolok, dan seharusnya tidak ada wahyu untuk Anda di sini. Baterai ini sebenarnya tidak "gagal" pada akhir 358 siklus; itu hanya nama yang diberikan (oleh insinyur uji baterai) ke titik di mana baterai ini turun di bawah 50% dari kapasitas pengenalnya.

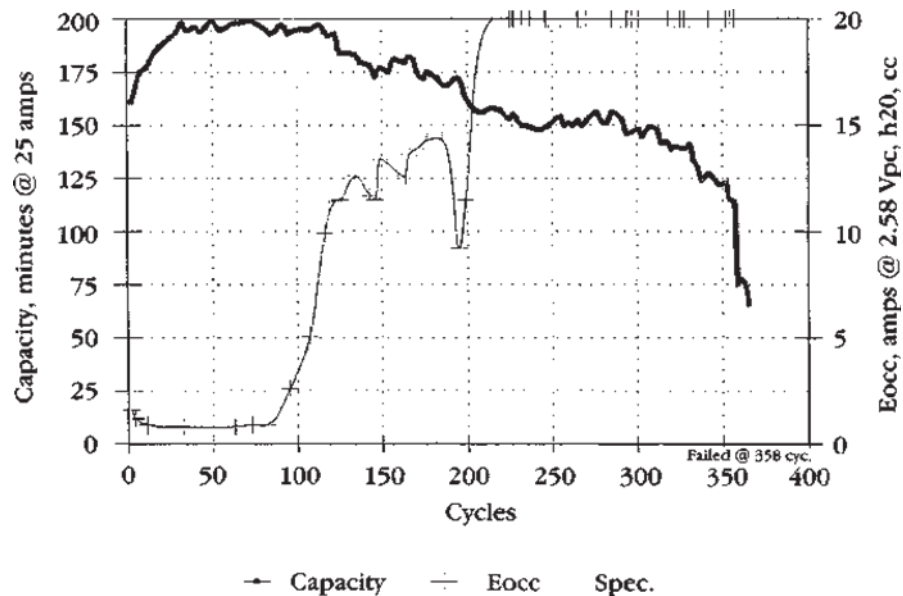
Arus akhir pengisian mungkin baru bagi Anda. Perhatikan bahwa itu cukup rendah di awal masa pakai baterai (sekitar satu amp) tetapi naik terus sampai di beberapa titik di sekitar masa pakai baterai mencapai nilai batasnya (sekitar 20 amp dalam grafik ini).

Apa artinya ini bagi Anda?

- Ini berarti bahwa arus pengisian baterai berfluktuasi secara luas selama masa pakainya.
- Ini berarti Anda dapat dengan cepat mematikan baterai baru yang hanya memerlukan sedikit arus untuk memulai siklus pengisiannya dengan menempatkan sumber tegangan yang tidak diatur tanpa kontrol arus di atasnya.
- Artinya Anda harus mendongkrak tegangan dan arus saat mengisi baterai yang lebih matang. Kedua hal ini berarti Anda tidak dapat mencolokkan pengisi daya ke baterai Anda, mengaturnya, dan melupakannya karena kebutuhan pengisian

baterai juga berubah dari siklus ke siklus dan dengan suhu dan kedalaman pengosongan.

Baterai timbal-asam yang disegel, dengan sedikit kalsium ditambahkan untuk menghilangkan kebutuhan akan penyiraman ulang, tidak menunjukkan karakteristik ini; Arus akhir pengisian mereka relatif datar sehingga Anda bisa sedikit lebih toleran dengan mereka.



Gambar 9.1 Hasil Uji Siklus Hidup Untuk Baterai Asam Timbal Siklus Dalam Trojan 27TMH y.

9.2.2 Siklus Pengosongan Baterai

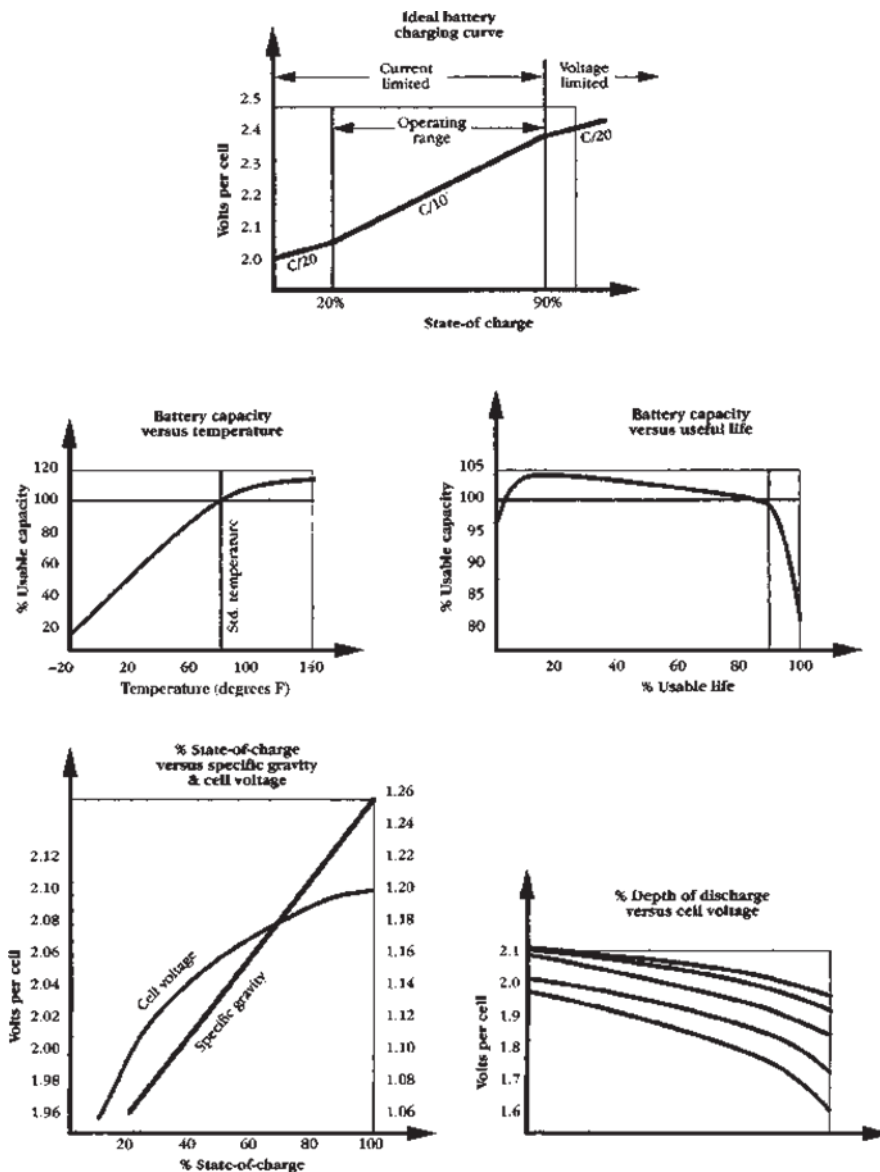
Mari kita amati siklus pengosongan terlebih dahulu, untuk membedakan apa yang terjadi pada parameter dengan apa yang terjadi selama pengisian daya. Kapasitas, voltase sel, dan gravitasi spesifik semuanya berkurang seiring waktu saat Anda mengeluarkan baterai. Gambar 9.2 menunjukkan bagaimana parameter kunci ini berubah (suhu standar 78° F dianggap):

- Ampere-Jam—Ukuran kapasitas baterai dan persen status pengisian daya (area di bawah garis dalam kasus ini) ditunjukkan menurun secara linier terhadap waktu dari pengisian penuh hingga nilai pengosongan penuh.
- Tegangan Sel—Tegangan sel dapat diprediksi menurun dari nilai nominalnya yang terisi penuh 2,1 volt ke nilai pengosongan penuhnya sebesar 1,75 volt.
- Gravitasi Spesifik—Gravitasi spesifik menurun secara linier (langsung dengan laju ampere-jam pengosongan baterai) dari pengisian penuh ke nilai pengosongan penuh.

9.2.3 Siklus Pengisian Baterai

Pengisian baterai adalah kebalikan dari pemakaian. Gambar 9.2 sekali lagi menunjukkan kepada Anda bagaimana parameter kunci berubah:

- Ampere-Jam—Ini kebalikan dari kasus pemakaian, kecuali bahwa Anda harus memasukkan kembali sedikit lebih banyak daripada yang Anda keluarkan (biasanya 105 hingga 115% lebih banyak) karena kehilangan, pemanasan, dll. Area di bawah garis meningkat secara linier versus waktu dari nilai yang terisi penuh ke nilai yang terisi penuh.
- Gravitasi Spesifik—Gravitasi spesifik meningkat pesat seiring waktu saat baterai sedang diisi, jadi melakukan pengukuran berat jenis selama siklus pengisian bukanlah ide yang baik. Pada bagian awal siklus pengisian, berat jenis meningkat perlahan karena proses reaksi kimia pengisian baru saja dimulai. Gravitasi spesifik meningkat dengan cepat ketika konsentrasi asam sulfat meningkat, dan gas di dekat akhir siklus berkontribusi terhadap kenaikannya.
- Tegangan Sel—Tegangan juga meningkat pesat seiring waktu saat baterai sedang diisi, jadi melakukan pengukuran tegangan selama siklus pengisian juga bukan ide yang baik. Perhatikan voltase sel langsung melonjak ke nilai alami 2,1 volt; perlahan meningkat hingga 80 persen *state-of-charge* (sekitar 2,35 volt); meningkat pesat hingga 90% *state-of-charge* (sekitar 2,5 volt); dan kemudian dibangun perlahan hingga nilai pengisian penuhnya 2,58 volt.



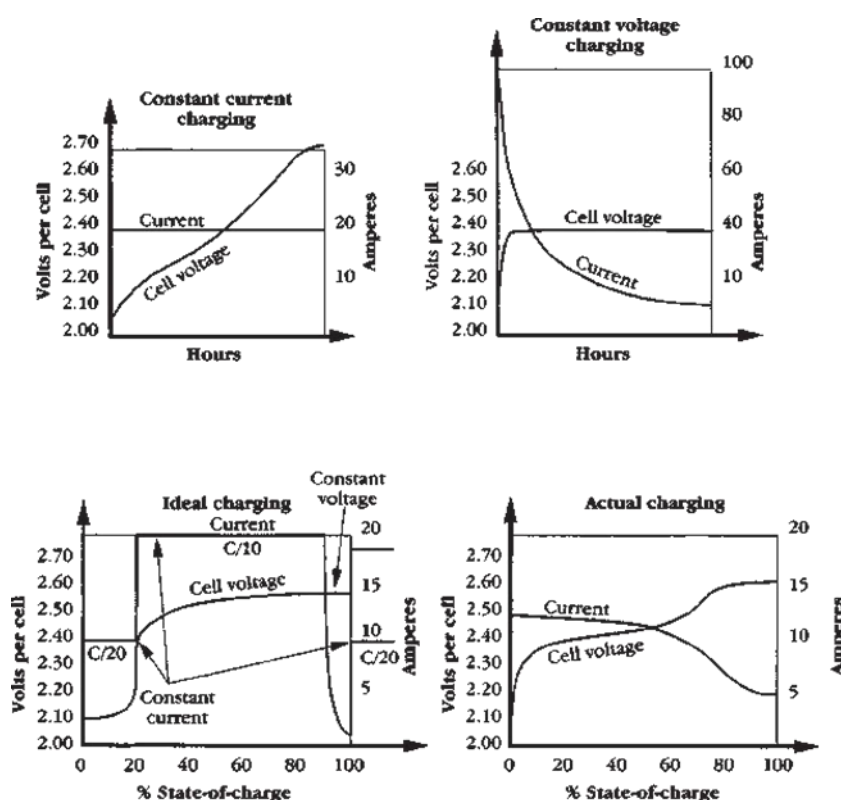
Gambar 9.2 Rangkuman Grafis Dari Siklus Pengosongan Dan Pengisian Baterai.

9.2.4 Pengisi Daya Baterai Ideal

Pengisian baterai adalah kebalikan dari pemakaian, tetapi kecepatan Anda melakukannya sangat penting dalam menentukan masa pakai baterai. Aturan dasarnya adalah isi daya segera setelah kosong, dan isi hingga penuh. Aturan laju pengisian daya adalah isi daya lebih lambat di awal dan akhir siklus pengisian daya (di bawah 20% dan di atas 90%).

Ketika baterai timbal-asam hampir kosong atau hampir penuh, kemampuannya untuk menyimpan energi berkurang karena perubahan resistansi internal sel. Mencoba untuk mengisi daya terlalu cepat selama periode ini menyebabkan gas

beracun dan peningkatan pemanasan di dalam baterai, sangat mengurangi masa pakai baterai. Idealnya, Anda membatasi arus baterai selama 90% pertama dari siklus pengisian dan membatasi tegangan baterai selama 10% terakhir dari siklus pengisian. Metode mana pun dengan sendirinya tidak berhasil. (Gambar 9.3 menunjukkan alasannya.)



Gambar 9.3 Karakteristik Pengisian Baterai Timbal-Asam Yang Ideal Dan Aktual.

Grafik di kanan atas pada Gambar 9.3 menunjukkan pengisian tegangan konstan dalam kasus ideal. Tegangan konstan biasanya diatur pada tingkat di mana penyerangan dengan gas menyebabkan penurunan aliran arus melalui baterai seiring waktu saat baterai diisi. Sayangnya, tanpa batasan arus, metode ini memungkinkan terlalu banyak arus mengalir ke baterai kosong. Mengumpulkan 100 amp atau lebih arus pengisian ke baterai yang benar-benar kosong dapat merusaknya atau sangat mengurangi masa pakainya.

Mari kita lihat pendekatan ideal selama keempat fase pengisian daya -0 hingga 20%, 20 hingga 90%, 90 hingga 100%, dan di atas 100%. Gambar 9.3 menunjukkan hasilnya.

Pengisian Antara 0 dan 20%

20% pertama dari siklus pengisian baterai yang sepenuhnya kosong adalah fase kritis dan Anda ingin memperlakukannya dengan lembut. Anda telah mempelajari di Bab 8 bahwa semua baterai memiliki peringkat kapasitas standar 20 jam. Setiap baterai dinilai untuk menghasilkan 100% dari kapasitas terukurnya pada tingkat C/20. Selama 20% pertama siklus pengisian daya, idealnya Anda ingin mengisi daya baterai tidak lebih dari laju C/20 arus konstan ini. Untuk menentukan arus pengisian 20% pertama,

$$\text{Arus Pengisian Daya} = \text{Kapasitas/Waktu Baterai} - C/20$$

Untuk baterai berkapasitas 200 ampere-jam, arus pengisian adalah

$$\text{Pengisian Arus} - 200/20 = 10 \text{ amp}$$

Dengan kata lain, Anda akan membatasi arus pengisian awal baterai ini hingga 10 amp. Anda dapat meledakkan baterai Anda dengan 200 amp dan mengisinya dalam 1 jam, tetapi Anda akan menua dan membunuhnya sebelum waktunya—itu tidak akan memberikan masa pakai yang penuh dan bermanfaat bagi Anda. Grafik di kiri bawah pada Gambar 9.3 menunjukkan hasil pengisian tingkat C/20 terbatas saat ini selama 20% bagian pertama dari siklus pengisian. Tegangan naik dengan lembut dan baterai Anda sangat senang.

Pengisian Antara 20 hingga 90%

Di tengah siklus pengisian daya, Anda dapat mengisi daya hingga kecepatan C/10. Ini adalah kecepatan tercepat yang secara efisien mengisi baterai timbal-asam. Tingkat ini tidak seefisien tingkat C/20 — lebih banyak energi yang terbuang dalam panas jika Anda mengingat kerugian I²R — tetapi ini menyelesaikan pekerjaan pengisian lebih cepat. Bahkan dengan efisiensi yang lebih rendah (dan risiko yang lebih besar pada baterai Anda), Anda dapat menaikkannya ke tingkat C/5 atau C/3 yang lebih tinggi selama periode pengisian ulang ini jika waktu sangat penting bagi Anda, dan jika Anda memantau dengan cermat suhu baterai sehingga batas operasi tidak terlampaui dan Anda tidak "memasak" itu. Arus pengisian akan menjadi 20 amp pada tingkat C/10 untuk baterai 200 ampere-jam. Gambar 9.3 menunjukkan bahwa tegangan, setelah peningkatan langkah ketika pengaturan arus diubah, naik perlahan ke nilai keadaan pengisian 90% sekitar 2,50 volt.

Pengisian Antara 90 dan 100%

Pada titik ini, Anda ingin kembali ke tingkat C/20 atau, idealnya, beralih ke metode tegangan konstan. Jika Anda beralih ke tegangan konstan yang disetel pada nilai pengisian penuh baterai siklus-dalam sebesar 2,58 volt, Gambar 9.3 menunjukkan

hasilnya arus yang diberikan ke baterai turun dengan cepat selama 10% pengisian terakhir ini dan baterai Anda sangat senang saat menerima muatannya penuh.

Pengisian Di Atas 100% (Menyamakan Pengisian)

Anda telah mempelajari tentang menyamakan pengisian di Bab 8. Diperlukan untuk mengembalikan semua sel ke status pengisian yang sama (untuk "menyamakan" karakteristik sel); untuk menjaga baterai beroperasi pada efisiensi puncak; untuk mengembalikan beberapa kapasitas baterai yang menua; untuk mengembalikan baterai terisi daya mengambang atau baterai dangkal ke layanan reguler; dan untuk menghilangkan efek sulfasi pada baterai yang idle atau habis. Pengisian equalizing dikendalikan pengisian berlebih pada tingkat $C/20$ arus konstan dengan batas tegangan pengisian dinaikkan menjadi 2,75 volt. Ini dilakukan setelah baterai terisi penuh, dan dipertahankan pada level ini selama 6 hingga 10 jam.

Equalizing charging tidak boleh dilakukan pada rate yang lebih besar dari $C/20$. Pengisian equalizing harus dilakukan setiap 5 sampai 10 siklus atau bulanan (mana yang lebih dulu); hanya di area yang berventilasi baik (tanpa percikan api atau asap) karena menghasilkan gas yang cukup besar; dan hanya ketika perhatian diberikan pada tingkat elektrolit, karena konsumsi air sangat besar selama periode gas yang cepat. Gambar 9.3 menunjukkan langkah kenaikan tegangan menjadi 2,75 volt dan kenaikan arus kembali ke level $C/20$.

Sekarang mari kita lihat waktu yang terlibat dalam menggunakan pendekatan ideal untuk mengisi baterai hipotetis kapasitas 200 ampere-jam kami:

10 amp ($C/20$) selama 5 jam	= 50 AH
20 amp ($C/10$) selama 7 jam	= 140 AH
10 amp ($C/20$) selama 1 jam	= 10 AH
Total: 13 jam	= 200 AH

Pendekatan ini membutuhkan 13 jam untuk mengisi baterai berkapasitas 200 ampere-jam. Asalkan Anda tidak melebihi suhu baterai, Anda dapat mengisi daya pada tingkat $C/5$ selama pertengahan siklus (40 amp selama 3,5 jam) dan mengurangi total waktu menjadi 9,5 jam.

9.2.5 Kenyataannya Dalam Pengisian Daya Baterai

Baterai awal di kendaraan mesin pembakaran internal Anda diisi ulang oleh alternator yang digerakkan mesin, yang outputnya dikendalikan oleh pengatur tegangan. Baterai awal habis kurang dari 1% dalam peran otomotif yang khas.

Seluruh daya keluaran terukur alternator ditempatkan di atasnya, dan pengatur tegangan memastikan tegangan tidak naik di atas 13,8 volt—sederhana. Mengapa tidak menggunakan pengaturan yang sama untuk mengisi ulang baterai motor listrik *deep-cycle* Anda.

Jawabannya adalah tegangan, arus, dan “booming”. Pendekatan ini tidak digunakan karena tegangan rangkaian baterai siklus-dalam motor listrik Anda mungkin 96 volt atau lebih, tetapi alternator biasanya diatur untuk menggerakkan baterai starter 12 volt. Dengan asumsi Anda dapat menyesuaikan alternator Anda atau membeli model tegangan yang benar, dan memiliki motor listrik yang sesuai untuk memutarinya, output alternator penuh yang diterapkan ke paket baterai siklus-dalam yang benar-benar habis akan mengalirkan terlalu banyak arus dan mengisinya terlalu cepat. Anda akan merusak dan/atau menghancurkan baterai Anda dalam waktu singkat. Pengatur tegangan tidak hanya tidak berguna dalam menghentikan ini, tetapi akan mencegah kenaikan tegangan menjadi 2,58 volt per sel untuk 10% akhir siklus, dan tidak akan membiarkan tegangan dinaikkan lebih lanjut menjadi 2,75 volt untuk proses pengisian daya yang menyamakan .

Solusinya adalah daya AC, trafo, penyearah, pengatur variasi atau "dapat disesuaikan secara manual", dan pengatur waktu: deskripsi akurat tentang pengisi daya baterai motor listrik saat ini.

Pola x pada grafik di kanan bawah pada Gambar 9.3 menunjukkan apa yang diberikan oleh sebagian besar pengisi daya baterai sebenarnya. Menggunakan variasi atau kombinasi metode arus konstan, tegangan konstan, lancip, dan tegangan akhir pengisian versus waktu, semua pengisi daya baterai sampai pada metode pengurangan arus selama siklus pengisian saat tegangan sel naik. Untungnya, Anda dapat membeli sesuatu dari rak untuk memenuhi kebutuhan Anda. Tetapi Anda harus menyelidiki sebelum membeli untuk memastikan pengisi daya baterai yang diberikan melakukan apa yang Anda inginkan.

Pengisi daya baterai "berukuran" menggunakan rumus:

$$\text{Pengisian Arus} = (\text{Kapasitas Baterai} \times 115\%) / (\text{Waktu}) + \text{Beban DC}$$

Dalam persamaan ini arus pengisian menentukan ukuran pengisi daya yang Anda butuhkan, 115% adalah faktor efisiensi untuk memperhitungkan kerugian, dan beban DC adalah apa pun yang terpasang pada baterai (ini adalah nol, dengan asumsi Anda melepaskan baterai Anda dari sistem kelistrikan motor listrik Anda saat mengisi ulang). Anda sudah terbiasa dengan kapasitas dan waktu baterai.

Anda dapat mencolokkan pengisi daya hingga 20 amp ke stopkontak AC 120 volt rumah tangga standar Anda. Pengisi daya berkapasitas arus lebih tinggi memerlukan sirkuit AC 240 volt khusus, jenis yang menggerakkan rangkaian listrik rumah tangga atau pengering pakaian Anda. Mari kita lihat opsi Anda yang sebenarnya: buat sendiri, dan beberapa jenis pengisi daya siap pakai yang dapat Anda beli.

Daya tiga fase ditemukan di industri dan jaringan listrik, bukan di rumah. Rumah biasanya satu fase. Saluran listrik bertegangan sangat tinggi memiliki enam kabel ditambah ground petir di bagian atas. Kabel yang berlawanan adalah fase yang sama. Mobil listrik AC biasanya menggunakan motor tiga fasa yang tegangan dan frekuensinya harus diubah-ubah karena kondisi berkendara yang bervariasi.

Apakah akan memiliki pengisi daya *on-board* atau *off-board* adalah pertimbangan lain. *On-board* memberi Anda kenyamanan berkendara (mengisi daya kapan pun Anda mau); ringan; dan konsumsi dayanya rendah. Beberapa pengontrol motor listrik komersial, seperti model Penggerak AC yang dibahas dalam Bab 7, bahkan berbagi komponen antara pengontrol inverter terpasang dan pengisi daya baterai untuk jumlah komponen minimum dan efisiensi maksimum (aliran arus menentukan fungsi sirkuit secara otomatis). *Off-board* memberi Anda kemampuan daya tinggi yang berarti waktu pengisian minimum di stasiun pengisian permanen, yang dapat menggabungkan banyak fitur tambahan.

Di bawah ini adalah dua pengisi daya paling populer di pasaran saat ini. Mereka adalah standar untuk industri dan benar-benar diterima oleh pasar.

9.2.6 Manzita Micro PFC-20

Ada yang bilang, “Lebih mahal dari Zivan, tapi *worth it.*” Sebuah Mikro Manzita digambarkan pada Gambar 9.4. Berikut beberapa spesifikasinya:

- PFC-20 dirancang untuk mengisi daya paket baterai apa pun dari nominal 12 volt hingga 360 volt (puncak 14,4 hingga 450). Ini adalah faktor daya-dikoreksi dan dirancang untuk mengeluarkan 20 amp (jika tegangan baterai lebih rendah dari tegangan input) atau menarik 20 amp dari saluran (jika tegangan saluran lebih rendah dari tegangan baterai). Opsi peningkatan uang pada PFC-20 akan meningkatkan output hingga 30 amp. Ada pengatur waktu yang dapat diprogram untuk mematikan pengisi daya setelah jangka waktu yang ditentukan oleh pengguna.
- Untuk petunjuk pemasangan, kunjungi www.manzanitamicro.com/install_pfc20revC_tidak_ada_foto.doc



Gambar 9.4 Manzita Micro PFC-20, pengisi daya baterai yang sangat serbaguna.

9.2.7 Zivan NG3

Zivan adalah pengisi daya yang sangat populer. Ini digunakan oleh dua kendaraan listrik terkenal bernama *Corbin Sparrow* dari *Corbin Motors* dan GEM, kendaraan listrik berkecepatan rendah dari *Global Electric Motorcars*, sebuah Perusahaan Chrysler. Secara pribadi, saya telah menggunakan pengisi daya ini sebelumnya dengan mobil GEM dan berfungsi dengan baik (lihat Gambar 9.5).

Zivan adalah pengisi daya terkemuka di komunitas kendaraan listrik. Yang paling saya sukai dari pengisi daya Zivan adalah mikroprosesornya dikendalikan dan dilindungi dari kelebihan beban, dan korsleting. Pengisi daya juga dapat menentukan apakah baterai bermasalah dan memberi tahu Anda sehingga Anda dapat menyimpan baterai dengan benar setiap saat. Ini juga memiliki opsi thermosensor yang memungkinkan output listrik untuk beradaptasi dengan semua jenis baterai. Ini meningkatkan masa pakai baterai dan mengurangi air yang dibutuhkan untuk menambah baterai. Mereka juga beroperasi pada efisiensi 85 hingga 90% untuk penghematan maksimum biaya tenaga listrik, yang sangat efisien. Lihat Tabel 9.1.



Gambar 9.5 Zivan NG3

9.3 Solusi Pengisian Baterai Lainnya

Terhadap banyak trade-off yang tersedia untuk Anda dengan pengisi daya baterai yang tersedia secara komersial saat ini, bersama dengan opsi tambahan dari pendekatan build-your-own (menggunakan komponen elektronik canggih saat ini), adalah perkembangan yang lebih baru yang akan datang untuk masa depan dan seterusnya. Ini termasuk teknik pengisian cepat, pengisian induksi, penggantian paket baterai, dan pengembangan infrastruktur. Mari kita lihat secara singkat masing-masing.

9.3.1 Pengisian Cepat

Sejumlah makalah modern telah membahas alternatif pengisian cepat. Orang Jepang mungkin yang paling berpikiran maju di bidang ini. Singkatnya, jika pengisian baterai motor listrik Anda dalam delapan jam baik, maka mencapai hasil yang sama dalam empat jam lebih baik. Untungnya, Anda dapat menggunakan arus DC berdenyut, pulsa pengisian dan pengosongan bolak-balik, atau sekadar DC tingkat tinggi untuk mencapai hasil.

Sayangnya, Anda harus memulai dengan setidaknya 240 volt AC (240V tiga fase lebih baik), dan Anda mungkin terlalu panas dan mempersingkat masa pakai baterai timbal-asam saat ini dalam prosesnya. Namun, jika Anda merancang baterai timbal-asam Anda untuk mengakomodasi fitur ini (jumlah elektroda timbal yang lebih tipis, pemisah khusus, dan elektrolit yang lebih banyak), itu menjadi mudah. Bahkan baterai nikel-kadmium dapat disesuaikan dengan proses jika dompet Anda lebih besar. Anda akan mendengar lebih banyak tentang ide ini seiring berjalannya waktu. (Tiga fase 240V akan memasok daya 50% lebih banyak daripada fase tunggal 480 volt. Karena menambahkan satu kabel memberi Anda daya tiga kali lipat, jaringan listrik dunia adalah tiga fase. Di area perumahan, balok diputar di antara fase A, B, dan C. Penyearah gelombang penuh tiga fase memberi Anda DC. Pada kendaraan listrik, motor tiga fase dapat dibalik dengan menukar dua fase.

Tabel 9.1 Pengisi Daya Baterai Frekuensi Tinggi NG3 Fase Tunggal 230/115

Kode	Jenis	Tegangan Baterai Nominal	Arus Keluaran	Output Arus wt-lb	Kemampuan Baterai yang Direkomendasikan
F7 AV	NG3 12-100	12 V	100 A	120	500-1000 AH
F7 BQ	NG3 24-50	24 V	50 A	60	250-500 AH
F7BT	NG3 24-80	24 V	80 A	95	400-800 AH
F7 CR	NG3 36-60	36 V	60 A	70	300-600 AH
F7 EQ	NG3 48-50	48 V	50 A	60	250-500 AH

F7 GN	NG3 60-35	60 V	35 A	40	175-350 AH
F7 HM	NG3 72-30	72 V	30 A	35	150-300 AH
F7 IL	NG3 80-27	80 V	27 A	30	135-270 AH
F7 LL	NG3 84-25	84 V	25 A	30	125-250 AH
F7 MI	NG3 96-22	96 V	22 A	26	110-220 AH
F7 NH	NG3 108-20	108 V	20 A	25	100-200 AH
F7 PH	NG3 120-18	120 V	18 A	22	90-180 AH
F7 QG	NG3 132-16	132 V	16 A	19	80-160 AH
F7 RG	NG3 144-15	144 V	15 A	18	75-150 AH
F7 WG	NG3 156-14	156 V	14 A	17	70-140 AH
F7 SF	NG3 168-13	168 V	13 A	16	65-130 AH
F7 TF	NF3 180-12	180 V	12 A	14	60-120 AH
F7 UE	NG3 192-11	192 V	11 A	13	55-110 AH
F7 VE	NG3 216-10	216 V	10 A	12	50-100 AH
F7 XC	NG3 240-9	240 V	9 A	11	50-100 AH
F7 YB	NG3 288-8	288 V	8 A	10	50-100 AH
F7 YB	NG3 312-7	312 V	7.5 A	9	50-100 AH

9.3.2 Pengisian Induksi

Banyak alternatif telah diusulkan untuk pengisian induksi. Divisi Hughes General Motors mungkin adalah yang paling berpikiran maju di bidang ini. Anda menjatuhkan pelat nomor belakang untuk mengekspos slot pengisian induktif motor listrik, menjatuhkan "dayung" Hughes ke dalam slot, dan menyalakan elektrolit. Dengan pendekatan lain yang dipasang di lantai atau dipasang di bumper depan, Anda harus memosisikan kendaraan Anda secara akurat. Pendekatan Hughes membuatnya lebih mudah daripada memasukkan bensin ke dalam kendaraan. Tidak ada jarak yang perlu dikhawatirkan, tidak ada tumpahan, dan tidak ada risiko sengatan listrik.

Proses memasukkan energi listrik ke dalam motor listrik Anda dapat terkomputerisasi dengan kartu kredit. Kios pengisian daya motor listrik —atau bentuk apa pun yang mereka asumsikan— suatu hari nanti akan sama akrabnya dengan bilik telepon, dan pengisian induktif gaya Hughes mungkin akan memimpin. Toyota RAV4 dan *General Motors* EV1 menggunakan pengisi daya ini.

9.3.3 Paket Baterai Pengganti

Banyak alternatif menarik juga telah diusulkan di daerah ini. Pembalap mobil listrik di Phoenix Solar & Electric 500 telah menggunakannya selama bertahun-tahun. Saat mereka masuk ke dalam lubang, kemasan baterai model kantong pelana

dijatuhkan dari posisi pemasangan luarnya dan baterai baru dipasang di tempatnya. Pendekatan yang sama ini, dengan “stasiun energi” lingkungan menggantikan pompa bensin, juga memiliki peran di masa depan. Desain motor listrik masa depan dapat distandarisasi dengan paket baterai yang dipasang di bagian bawah bodi mobil. Anda masuk ke stasiun energi, menjatuhkan baterai lama, menaikkan yang baru ke tempatnya dan menguncinya, membayar dengan kartu kredit (mungkin setoran untuk paket ditambah biaya energi untuk pengisian daya), dan Anda siap cara dalam waktu beberapa menit.

9.3.4 Hari Esok

Tidak ada yang menghentikan Anda untuk menggunakan teknik pengisian cepat, pengisian induksi, dan/atau penggantian baterai hari ini. Yang pertama membutuhkan baterai timbal-asam tugas berat khusus. Dua lainnya dapat dilakukan oleh seorang individu, tetapi jelas membutuhkan pembangunan infrastruktur untuk diadopsi secara luas. Artikel bahkan telah ditulis tentang bagaimana Anda dapat mengisi daya motor listrik Anda dari sumber matahari hari ini.

Tetapi pembangunan infrastruktur yang serius diperlukan untuk hadiah yang sebenarnya: kendaraan listrik bertenaga jalan raya. Banyak makalah dan artikel telah ditulis, semua karena daya tarik gagasan yang menggiurkan. Sebuah mobil listrik bertenaga timbal-asam-baterai sederhana memiliki jangkauan lebih dari cukup untuk membawa Anda ke jalan raya antar negara bagian terdekat. Sesampai di sana, Anda menekan tombol di dasbor, pickup induktif pada motor listrik Anda menarik energi dari jalan raya melalui “*metering-box*” di kendaraan Anda (sehingga perusahaan utilitas tahu siapa dan berapa banyak yang harus diisi), dan Anda akan diisi ulang dalam perjalanan Anda ke tujuan Anda tanpa semua polusi, kebisingan, jelaga, dan bau.

Jika jalan raya dan motor listrik Anda memiliki desain “pintar”, Anda bahkan bisa mendapatkan informasi perjalanan (cuaca, petunjuk arah, dll.) saat jalan raya memandu kendaraan Anda dalam mode lepas tangan, dan Anda membaca koran pagi atau memindai berita TV malam. Yang diperlukan hanyalah pembangunan infrastruktur.

9.4 Sistem Kelistrikan Mobil Listrik

Mengatakan bahwa sistem kelistrikan sebuah motor listrik adalah bagian terpentingnya bukanlah sebuah *oxymoron*. Idenya adalah untuk meninggalkan sebanyak mungkin kabel instrumentasi kendaraan pembakaran internal yang Anda butuhkan utuh, dan

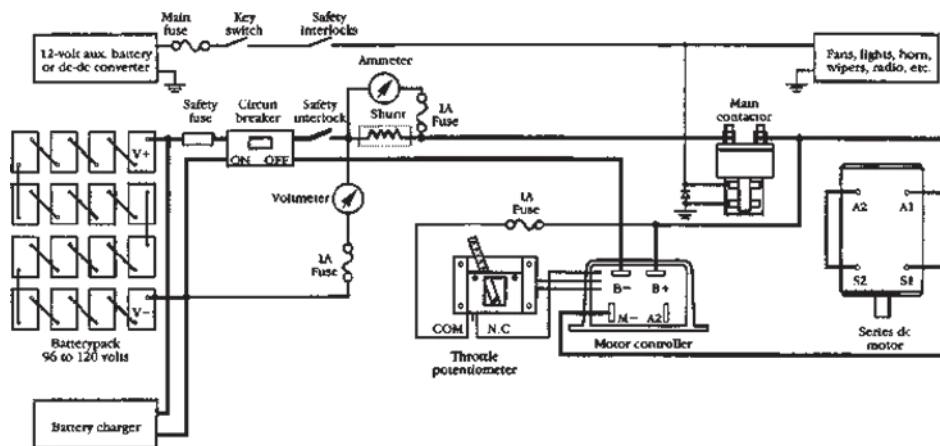
dengan hati-hati menambahkan kabel tegangan tinggi, arus tinggi yang dibutuhkan oleh konversi motor listrik Anda.

Lakukan pekerjaan yang baik pada kabel tegangan tinggi, arus tinggi konversi motor listrik Anda dan itu akan memberi Anda layanan bebas masalah selama bertahun-tahun. Lakukan dengan cara yang ceroboh dan, selain dari boom atau poof yang jelas (disertai dengan asap), Anda membuka diri ke dunia malfungsi yang aneh. Keindahan tersembunyi dari setiap konversi motor listrik buatan rumah adalah bahwa hanya ada dua tempat untuk disalahkan jika ada yang tidak beres: lihat ke cermin dan di bawah tenda.

Bagian ini akan membahas sistem kelistrikan yang menghubungkan motor, pengontrol, baterai, dan pengisi daya bersama dengan komponen instrumentasi tegangan tinggi, arus tinggi, dan tegangan rendah, arus rendah. Gambar 9.6 menunjukkan sistem secara sekilas. Kita akan melihat komponen yang masuk ke sisi arus tinggi dan arus rendah secara terpisah, kemudian membahas pengkabelan semuanya bersama-sama.

9.4.1 Tegangan Tinggi, Sistem Tenaga Arus Tinggi

Garis yang lebih berat dari Gambar 9.6 menunjukkan koneksi arus tinggi. Saat Anda memasang motor, pengontrol, baterai, dan pengisi daya di dalam kendaraan Anda, Anda memerlukan kontaktor, pemutus sirkuit, dan sekering untuk mengganti arus berat yang terlibat. Mari kita lihat lebih dekat komponen arus tinggi ini.



Gambar 9.6 Diagram Pengkabelan Dasar Kendaraan Listrik.

Kontaktor Utama

Kontaktor bekerja seperti relay. Kontak tugas beratnya (biasanya diberi nilai 150 hingga 250 amp terus menerus) memungkinkan Anda untuk mengontrol arus

besar dengan tegangan tingkat rendah. Sebuah kontaktor utama kutub tunggal, biasanya terbuka, alat tersebut ditempatkan di sirkuit arus tinggi antara baterai dan pengontrol dan motor. Saat Anda memberinya energy, biasanya dengan menyalakan sakelar kunci kontak daya arus tinggi tersedia untuk pengontrol dan motor.

Membalikkan Kontaktor

Kontaktor ini digunakan dalam motor listrik ketika kontrol transmisi listrik daripada mekanis dari arah maju-mundur diinginkan. Kontak *change-over* dari kontaktor kutub ganda ini, yang ditunjukkan pada Gambar 9.7, digunakan untuk membalikkan arah aliran arus dalam belitan medan motor DC seri. Ketika kontaktor ini digunakan, sakelar mati tengah-maju-mundur ditambahkan ke sistem perkabelan tegangan rendah setelah sakelar kunci kontak.

Pemutus Sirkuit Utama

Pemutus sirkuit seperti sakelar dan sekering yang mengatur ulang. Tujuan pemutus sirkuit tugas berat ini (biasanya diberi nilai 300 hingga 500 amp) adalah untuk secara instan menghentikan daya baterai utama jika terjadi kerusakan sistem penggerak, dan untuk secara rutin mengganggu daya baterai saat melakukan servis dan pengisian ulang. Untuk kenyamanan, pemutus sirkuit ini biasanya terletak di dekat unit baterai. Switchplate dan perangkat keras pemasangan berguna untuk memberi tahu pengguna biasa tentang motor listrik Anda tentang fungsi pemutus sirkuit.



Gambar 9.7 Kontaktor pembalik—kutub ganda.

Sekering Pengaman

Tujuan dari sekering pengaman adalah untuk memutus aliran arus jika terjadi hubungan pendek yang tidak disengaja pada unit baterai. Dengan kata lain, Anda meniup salah satu dari ini sebelum Anda mengelas kunci pas sabit Anda ke bingkai dan membuang baterai Anda dalam prosesnya.

Berpaut Keamanan

Ada sakelar tambahan yang dimasukkan beberapa konverter mobil listrik ke dalam sistem arus tinggi mereka, biasanya dalam bentuk kenop atau tombol merah besar di dasbor—pengunci pengaman darurat atau “saklar pemutus”. Ketika semuanya gagal, meninju ini akan menarik steker pada daya baterai Anda.

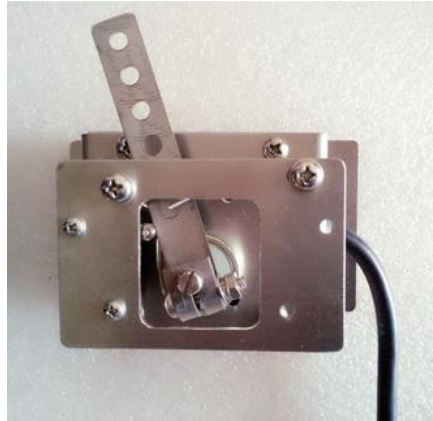
9.4.2 Sistem Instrumentasi Arus Rendah, Tegangan Rendah

Sistem instrumentasi mencakup sakelar kunci, kontrol throttle, dan kabel pemantauan. Kabel sakelar kunci, dikendalikan oleh kunci kontak, menyalurkan daya dari baterai aksesori atau sirkuit konverter DC-ke-DC ke semua yang Anda perlukan untuk mengontrol saat motor listrik Anda beroperasi: lampu depan, lampu interior, klakson, wiper, kipas, radio, dll Kabel kontrol throttle adalah segalanya yang terhubung dengan fungsi potensiometer throttle yang sangat penting. Kabel pemantauan terlibat dalam penginderaan jauh arus, tegangan, suhu dan energi yang dikonsumsi, dan perutean ke meter dan pengukur yang dipasang di dasbor. Mari kita lihat lebih dekat komponen bertegangan rendah ini.

Potensiometer Throttle

Ini biasanya merupakan potensiometer 5 kiloohm, tetapi memiliki tujuan khusus dan fungsi keamanan yang penting. Model Curtis, yang dirancang untuk menemani dan melengkapi pengontrolnya dan untuk menggunakan tautan pedal kaki akselerator yang ada pada kendaraan Anda, ditunjukkan pada Gambar 9.8. Model ekuivalen, untuk penggunaan pengganti atau untuk desain kendaraan ground-up yang belum memiliki pedal akselerator, ditunjukkan pada Gambar 9.9. Dengan salah satu dari ini, model Curtis menyediakan opsi menonaktifkan pedal tinggi yang menghambat keluaran pengontrol jika pedal ditekan; yaitu, Anda tidak dapat memulai motor listrik Anda dengan menginjak gas— fitur keselamatan yang sangat diinginkan. Karena pengontrol Curtis juga berisi mode input kesalahan yang mematikan pengontrol jika input potensiometer terbuka terdeteksi (misalnya, dalam kasus kabel putus)—kondisi yang akan mengakibatkan pelarian— Anda tercakup dalam kedua instance dengan menggunakan pengontrol Curtis dan throttle dengan opsi menonaktifkan pedal tinggi. Gambar 9.10 menunjukkan bahwa kabel potensiometer throttle masuk langsung ke input pengontrol, dengan

potensiometer yang dapat dipertukarkan dan kontak umum dan biasanya tertutup seperti yang ditunjukkan.



Gambar 9.8 Potensiometer throttle Curtis dengan sakelar penonaktifan pedal tinggi (perhatikan tiga kontak sakelar di sebelah kiri).



Gambar 9.9 Potensiometer throttle pedal akselerator pengganti Curtis.

Relay bantu

Gambar 9.10 menunjukkan kontrol bantu yang sangat berguna ini, *relay double-pole, double-throw* di kedua jenis 20-amp-rated 12-volt DC (di sebelah kanan) dan varietas kumparan AC 120-volt. Penggunaan tipikal untuk tipe koil AC adalah sebagai interlock pengisi daya. Disambungkan secara seri dengan pengisi daya terpasang, tegangan AC yang dirasakan pada terminal input pengisi daya akan segera menonaktifkan keluaran paket baterai dengan mengganggu jalur sakelar kunci baterai tambahan, yang, pada gilirannya, membuka kontaktor utama. Penggunaan kumparan DC hanya dibatasi oleh imajinasi Anda: interlock pengaman

tambahan; tegangan, arus, atau suhu saling mengunci; dan mengendalikan lampu, kipas, dan instrumentasi.



Gambar 9.10 Relai bantu, 120 volt AC (kiri) dan 12 volt DC (kanan).

9.4.3 Jalur Terminal

Apa pun yang Anda lakukan di departemen kelistrikan, strip terminal sederhana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.11 membuat pengkabelan Anda lebih mudah dan rapi. Menggunakan satu atau lebih dari ini sebagai titik pengikat yang nyaman tidak hanya mengurangi kemungkinan kesalahan dalam pengkabelan konversi pertama kali, tetapi juga membuatnya lebih mudah untuk melacak koneksi Anda nanti jika diperlukan. Tentu saja, ini sama berharganya dengan sketsa gambar tangan Anda tentang fungsi apa yang ada di terminal mana.



Gambar 9.11 Strip terminal.

9.4.4 Shunt

Shunt adalah resistor yang dikalibrasi dengan tepat yang memungkinkan aliran arus dalam rangkaian ditentukan dengan mengukur penurunan tegangan yang melintasinya. Dua varietas ditunjukkan pada Gambar 9.12: kiri mengukur arus dari 0 hingga 50 amp; yang benar mengukur arus dari 0 hingga 500 amp.



Gambar 9.12 Current Shunt Amperemeter—50 amp (kiri) dan 500 amp (kanan).

9.4.5 Amperemeter

Yang paling berguna dari semua instrumen on-board motor listrik Anda adalah ammeter Anda. Model skala ganda yang ditunjukkan pada Gambar 9.13 memberikan rentang pemantauan 0- hingga 50-amp atau 0- hingga 500-amp pada *flip switch*. Rentang yang lebih tinggi memungkinkan Anda untuk menentukan penarikan arus motor Anda secara instan; itu berfungsi seperti pengukur vakum di kendaraan mesin pembakaran internal — semakin sedikit arus, semakin tinggi jangkauannya, dan seterusnya.

Rentang bawah berfungsi sama dengan ammeter yang mungkin sudah ada di kluster instrumen kendaraan konversi pembakaran internal Anda, ini memberi tahu Anda jumlah arus yang dikonsumsi aksesoris 12 volt Anda.



Gambar 9.13 Amperemeter Curtis

9.4.6 Voltmeter

Instrumen *on-board* motor listrik kedua yang paling berguna adalah voltmeter Anda. Model skala ganda yang diperluas (Gambar 9.14) menghasilkan rentang 50 hingga 150 volt atau 9 hingga 14 volt dengan menekan sakelar. Skala yang diperluas berarti hanya rentang voltmeter yang diperlukan yang digunakan; seluruh skala diperluas untuk mengisi hanya rentang voltase yang Anda gunakan. Rentang yang lebih tinggi memungkinkan Anda untuk menentukan voltase

seketika paket baterai Anda (berfungsi seperti pengukur bahan bakar di kendaraan mesin pembakaran internal Anda — semakin sedikit voltase, semakin sedikit rentang yang tersisa. Rentang yang lebih rendah berfungsi seperti voltmeter yang mungkin sudah ada di kluster instrumen kendaraan konversi pembakaran internal Anda—ini memberi tahu Anda status sistem 12 volt Anda.



Gambar 9.14 Voltmeter Curtis

9.4.7 Indikator Baterai

Pengguna tampaknya sangat menyukai indikator baterai atau menganggapnya berlebihan (dengan voltmeter) jadi selidiki sebelum Anda berinvestasi. Versi Curtis Model 900 (Gambar 9.15) menunjukkan status pengisian baterai sejak pengisian penuh terakhir Anda menggunakan 10-pembacaan elemen LED. Indikator baterai dihubungkan langsung ke baterai seolah-olah itu adalah voltmeter. Sirkuit eksklusif di dalam modul kemudian mengintegrasikan status tegangan ke dalam pembacaan sisa energi yang ditampilkan di salah satu dari 10 batang LED. Meskipun ini tidak berguna bagi mereka yang menggunakan pengisian daya terpasang, dan tentu saja tidak mendekati sistem manajemen energi baterai, ini berguna bagi mereka yang hanya mengisi daya dari lokasi tetap sebagai panduan kapan pemberhentian berikutnya dilakukan.



Gambar 9.14 Indikator Baterai

9.4.8 Pengukur Suhu

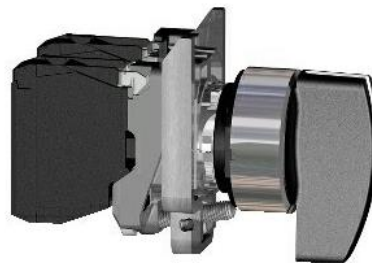
Sementara motor listrik bertenaga baterai timbal-asam Anda tidak akan berjalan sama sekali jika sangat, sangat dingin, Anda dapat menggunakannya lagi saat suhu naik. Pada ujung timbangan bersuhu tinggi, Anda dapat menyebabkan kerusakan permanen pada baterai, pengontrol, atau motor jika batas suhu terlampaui. Pengukur suhu tentu termasuk dalam kategori yang bagus untuk dimiliki daripada kategori wajib, tetapi jika Anda sangat ingin, cara mudah untuk mengawasi suhu adalah dengan menggunakan termistor dan pengukur suhu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.16 Atau Anda dapat menggunakan beberapa termistor—satu termistor untuk setiap objek yang diinginkan (baterai, pengontrol, motor, dll.)—dan memantau semuanya dengan beralih di antara mereka.



Gambar 9.16 Thermometer Curtis

9.4.9 Saklar Putar

Saklar putar seperti saklar empat kutub, dua posisi yang ditunjukkan pada Gambar 9.17 adalah pendamping ideal untuk meter instrumentasi Anda untuk peralihan jangkauan, sensor, dan fungsi. Meskipun Anda hanya dapat memilih ammeter dan voltmeter di motor listrik Anda yang sudah jadi, Anda mungkin ingin memeriksa tegangan dan arus di banyak titik selama tahap pengujian. Beberapa saklar putar membantu Anda dalam kedua kasus tersebut.



Gambar 9.17 Saklar Putar

9.4.10 Kipas

Kipas termasuk dalam kategori wajib untuk menjaga kenaikan suhu untuk memeriksa komponen kompartemen mesin, atau untuk menjaga agar kompartemen baterai tetap berventilasi selama pengisian daya. Baik bertenaga DC penuh waktu dari sirkuit saklar kunci, bertenaga DC sebentar-sebentar melalui

penutupan relai, atau diberdayakan dari stopkontak AC, kipas motor DC 12-volt bebas percikan dan kipas motor AC 120-volt adalah tipe yang Anda inginkan. Untuk memilih.

9.4.11 Sekering Proteks Tegangan Rendah

Semua instrumentasi dan komponen tegangan rendah kritis Anda harus dilindungi oleh sekering 1-amp (varietas otomotif berfungsi dengan baik). Setiap kali 25 sen dapat menghemat hingga \$ 200, itu adalah investasi yang bagus.

9.4.12 Interlock Tegangan Rendah

Banyak konverter motor listrik lebih suka menerapkan sakelar mematikan yang disebutkan sebelumnya di bagian ini di sisi tegangan rendah. Seringkali lebih mudah karena ada sejumlah interlock yang sudah ada disana — kursi, baterai, benturan, dll. Selain itu, implementasi tegangan rendah hanya membutuhkan sakelar sederhana, mungkin relai, dan beberapa kabel penghubung — beberapa ons berat pada paling banyak— sementara solusi arus tinggi membutuhkan beberapa pon kawat ditambah pembengkokan dan pemasangan, dll.



Gambar 9-18 Konverter DC-ke-DC Sevcon

9.4.13 Konverter DC-ke-DC

Gambar 9.16 menunjukkan dua pilihan konverter DC-ke-DC. Sebagian besar konverter motor listrik saat ini akan memilih model 128 volt hingga 12 volt di sebelah kiri (beroperasi dari input 78 volt hingga 126 volt dan menghasilkan output nominal 13,5 volt). Keuntungan menggunakan salah satu unit 25-amp ini untuk memberi daya pada aksesoris sakelar kunci, potensiometer throttle, dan instrumentasi, bermuara pada satu kata: berat. Menggunakan konverter DC-ke-DC sebagai pengganti baterai tambahan menghemat 50 lbs Anda. Dan sebagian besar konverter DC-ke-DC memberi Anda output 12 volt yang bagus dan stabil, bahkan dengan perubahan voltase baterai yang sangat bervariasi. Pada saat ini, Anda

sudah tahu bahwa tidak disarankan untuk menarik daya dari apa pun yang kurang dari semua baterai dalam rangkaian kemasan (atau berisiko mengurangi masa pakai baterai, dll.), jadi pilihlah konverter DC-ke-DC Anda—tidak ada 12 volt ke tolong model 12 volt.

9.4.14 Pengisi Daya Baterai Tambahan

Gambar 9.19 menunjukkan alasan lain untuk menggunakan konverter DC-ke-DC: Anda tidak memerlukan pengisi daya baterai tambahan ini. Baterai tambahan juga harus diisi ulang, jadi Anda memerlukan pengisi daya terpisah yang memasok 12 volt (kecuali jika Anda memilih pengisi daya tegangan ganda seperti model 12/108 Lester). Jika itu adalah baterai aksesori deep-discharge, menggunakan pengisi daya otomotif apa pun tidak akan berhasil. Pada keseimbangan, baterai dan pengisi daya berakhir dengan biaya yang sama dengan konverter DC-ke-DC, tetapi perhatikan terus dan berikan tegangan yang kurang stabil dengan penalti berat tambahan.

Anda memasangnya di dinding garasi Anda, terhubung di antara pengisi daya baterai Anda dan layanan listriknya, Anda dapat merekam pembacaan wattmeter, mengisi baterai motor listrik Anda, melakukan perkakas Anda, lalu kembali dan ulangi prosesnya. Seiring waktu, wattmeter memberi tahu Anda pola penggunaan energi motor listrik Anda, dan dapat dengan cepat memberi tahu Anda jika ada sesuatu yang salah (menyeret sepatu rem, dll.) dengan penyimpangan dari polanya. Plus, Anda dapat menggunakan hasilnya untuk menunjukkan kepada istri/suami, teman, tetangga, dan komunitas Anda berapa banyak uang yang Anda hemat dibandingkan dengan kendaraan mesin pembakaran internal.



Gambar 9.19 Pengisi daya baterai tambahan.

9.4.15 Hubungkan Semuanya Bersama-sama

Lima hal penting di sini pengukur kabel dan konektor, koneksi, perutean, pentanahan, dan pemeriksaan. Kami akan membahasnya secara berurutan.

Kawat dan Konektor

Ini mungkin salah satu hal terakhir yang Anda pikirkan, tetapi itu sama sekali bukan yang paling penting. Meskipun pilihan ukuran kabel dan jenis konektor Anda di sisi instrumentasi tidak sepenting koneksi yang Anda buat dengannya, semua ini penting di sisi daya.

Bekerja dengan kabel pengukur kabel AWG 2/0 bukanlah hobi favorit saya—anggap saja sebagai latihan aerobik yang tidak disengaja—tetapi resistensi minimalnya menjamin Anda motor listrik efisiensi tinggi dibandingkan dengan pemanggang roti bergerak terbesar di dunia.

Resistensi minimal berarti bagaimana konektor terpasang ke ujung kabel kawat sama pentingnya dengan hasil keseluruhan. Kencangkan konektor ke ujung kabel menggunakan alat crimping yang tepat (tanyakan pada penyedia listrik atau penyedia kabel setempat) atau minta seseorang melakukannya untuk Anda. Sebuah crimp kontak segitiga mungil, yang Anda dapat dengan mudah lolos saat bekerja di kabel hookup AWG 18, berakibat fatal pada konektor AWG 2/0 ferrule bulat Anda. Ini akan menyebabkan Anda menjadi titik panas yang cepat atau lambat akan meleleh (atau dilas) oleh arus motor listrik 200-amp rutin. Sementara itu, Anda akan mendapatkan kinerja yang buruk. Jika Anda mendapatkan 20 mil per pengisian dan tetangga Anda mendapatkan 60 mil per pengisian dengan pengaturan yang sama, dan Anda memeriksa alasan mekanis-motor-controller-baterai yang jelas, kemungkinan itu ada di kabel Anda. Perlakukan setiap crimp dengan perhatian penuh kasih dan keahlian, seolah-olah masing-masing adalah tindakan duniawi terakhir Anda, dan Anda akan berada di surga dalam hal kinerja motor listrik Anda.

Koneksi

Di sisi kekuatan, koneksi itu penting. Ini terjadi ketika konektor kabel AWG 2/0 Anda terpasang ke motor, pengontrol, baterai, shunt, sekering, pemutus sirkuit, sakelar, dll. Periksa untuk memastikan permukaannya rata, bersih, dan halus sebelum dipasang. Gunakan dua kunci pas untuk menghindari tekukan pengontrol tab datar dan lug sekering. Putar semuanya dengan kencang, tetapi tidak kencang. Periksa semuanya dan kencangkan kembali koneksi baterai setidaknya setiap bulan.

Rute

Bertujuan untuk perutean panjang minimum di sisi daya. Tinggalkan sedikit kelonggaran untuk pemasangan dan pelepasan, dan sedikit lagi kelonggaran untuk ekspansi panas; lalu pilih garis yang merupakan jarak terpendek antara dua titik. Di sisi instrumentasi, kerapian dan ketertelusuran yang diperhitungkan: Anda ingin rapi untuk dipamerkan ke teman dan tetangga, Anda ingin rapi sehingga Anda (atau orang lain) dapat mengetahui apa yang Anda lakukan.



Gambar 9.20 Don Moriarty hampir ideal untuk kontrol kendaraan listrik dan perkabelan komponen.

Gambar 9.20 menunjukkan tata letak ideal pembalap olahraga kustom Don Moriarty semuanya ditata dengan rapi di atas pelat penahan pendingin raksasa (1/8-inci hingga 1/4-inci aluminium yang diperkuat dan penyangga silang, dll.). Rak ini dapat berengsel di bagian belakang ke firewall dan disematkan di bagian depan (atau sebaliknya). Guncangan gas (dari berbagai dek bagasi belakang) dapat ditambahkan untuk membuatnya 30 hingga 50 lbs. mudah diangkat untuk akses—sentuhan yang mudah digunakan. Di Bab 10, "kotak ajaib" Jim Harris memberi Anda halaman lain untuk buku ide Anda—pendekatan berbeda yang menghasilkan hasil yang diinginkan sama: panjang minimum dikombinasikan dengan kerapian dan ketertelusuran.

Landasan

Rahasia kesuksesan motor listrik adalah memiliki landasan yang baik dalam semua aspeknya. "Dibumikan dengan baik" dalam istilah kelistrikan berarti tiga hal:

- *Floating Propulsion System Ground*—Tidak ada bagian dari sistem propulsi (baterai, pengontrol, dll.) yang boleh dihubungkan ke bagian mana pun dari rangka kendaraan. Hal ini meminimalkan kemungkinan tersengat saat Anda

menyentuh terminal baterai dan bodi atau rangka, dan korsleting terjadi jika ada bagian kabel yang terkelupas dan menyentuh rangka atau badan.

- Sistem Aksesori 12-Volt Dibumikan ke Rangka—Sistem aksesori 12-volt di sebagian besar konversi motor listrik dibumikan ke rangka, sama seperti sistem kelistrikan sasis kendaraan pembakaran internal yang digunakannya. Tubuh dan rangka tidak terhubung ke sistem propulsi, tetapi dapat dan harus digunakan sebagai titik *ground* untuk sistem aksesori 12 volt, seperti yang dilakukan oleh pabrikan sasis kendaraan asli.
- Rangka Dibumikan ke AC Netral Saat Mengisi Daya—Tubuh dan rangka harus diarde ke jalur netral AC (kabel hijau) saat pengisi daya AC terpasang atau terpasang di kendaraan. Ini mencegah sengatan listrik saat baterai sedang diisi. Untuk menjamin kinerja bebas guncangan, pengisi daya tanpa transformator harus selalu memiliki pemutus gangguan *ground*, dan pengisi daya berbasis transformator harus dari jenis isolasi.

9.4.16 Memeriksa

Ini bukan paragraf tentang perbankan. Ini adalah paragraf tentang kemitraan. Sistem apa pun yang Anda putuskan untuk digunakan pemeriksaan kontinuitas, protes verbal, kode warna, mencocokkan pasangan terminal dengan daftar, dll. Setidaknya minta satu orang lain untuk membantu Anda. Ini akan membuat konversi berjalan lebih cepat, ditambah kemungkinan Anda akan menemukan sesuatu yang Anda sendiri mungkin telah abaikan. Berbicara tentang peluang, pastikan roda penggerak motor listrik Anda ditinggikan saat pertama kali Anda menghubungkan baterai Anda ke kreasi Anda yang baru terhubung sehingga tidak sengaja "berkeliaran" melalui pintu garasi Anda.

BAB X

MENGUBAH MOBIL LISTRIK

*Truk pickup dan mobil sport adalah kendaraan terlaris;
Mereka juga merupakan konversi EV terbaik.*

Apakah Anda telah membaca seluruh buku sejauh ini atau hanya mengambil buku dan melompat ke bab ini, Anda akhirnya berhasil sampai ke bab yang memberitahu Anda bagaimana melakukannya. Proses konversi inilah yang menyatukan kendaraan listrik Anda dan membuatnya berjalan. Anda telah belajar bahwa memilih sasis yang tepat untuk memenuhi kebutuhan dan tujuan mengemudi Anda adalah langkah pertama yang penting. Anda juga telah mempelajari tentang motor, pengontrol, baterai, pengisi daya, dan rekomendasi pengkabelan sistem. Sekarang, saatnya untuk menyatukan semuanya. Proses konversi yang direncanakan dan dijalankan dengan cermat dapat menghemat waktu dan uang Anda selama konversi, dan menghasilkan kendaraan efisien yang menyenangkan untuk dikendarai dan dimiliki setelah selesai.

Bab ini membahas proses konversi langkah demi langkah dengan bantuan beberapa spesialis konversi. Ini juga memperkenalkan jenis sasis yang dapat dipilih untuk konversi motor listrik Anda hari ini. Anda akan menemukan bahwa setelah tindakan sederhana melalui proses konversi, upaya dan hasil Anda akan tampil lebih baik lagi.

10.1 Seputar Perubahan

Apa yang Anda lakukan untuk sudut pandang baru ketika membangun sesuatu yang mekanis, bahkan jika itu adalah kendaraan listrik? Anda pergi ke mekanik. Kami pergi ke ahli mekanik dan masinis, Jim Harris, yang telah memiliki pengalaman lebih dari 20 tahun, memiliki bengkel mobil sendiri, dan mampu menawarkan sudut pandang yang benar-benar segar tentang bagaimana membangun sebuah motor listrik.

Apa yang Anda lakukan pertama kali? Mulai dengan truk pickup. Truk pickup adalah kendaraan transportasi satu orang yang paling populer untuk penggunaan komuter, dan berguna untuk membawa banyak muatan lainnya juga. Mereka membuat platform yang sangat baik untuk motor listrik karena mereka mengisolasi baterai dari kompartemen penumpang dengan sangat mudah; bobot baterai tambahan tidak menimbulkan masalah untuk struktur kendaraan yang memang dirancang untuk menahan beban; dan pikap jauh lebih lapang dalam hal ruang mesin dan ruang kotak pikap untuk melakukan apa pun yang Anda ingin lakukan dengan desain dan tata letak komponen. Truk pickup, kendaraan terlaris, juga merupakan konversi motor listrik terbaik.



Gambar 10.1 Jim Harris' 1987 Motor Listrik Ford Ranger Versi Con.

Ingatlah bahwa, sementara kita berbicara tentang konversi motor listrik truk pikap Ford Ranger selangkah demi selangkah di sini, prinsipnya akan berlaku sama baiknya untuk semua jenis konversi motor listrik yang Anda lakukan. Dan sementara truk pikap Ford Ranger yang digunakan dalam konversi bab ini juga digunakan oleh profesional konversi lainnya, platform Chevy S-10 dan Dodge Dakota juga memiliki pendukungnya.

Beberapa hasil terbesar adalah yang pertama Bob Brant tulis dalam edisi pertama proyek Jim Harris pada kendaraan pertamanya—Ford Ranger 1987 yang ditunjukkan pada Gambar 10.1.



Gambar 10.2 Porsche listrik Paul Little (*Courtesy dari EVPorsche.com*).



Gambar 10.3 Joe Porcelli dan Dave Kimmins dari Nissan Operasi Z.

Gambar 10.2 menunjukkan konversi Porsche Paul Little, dan Gambar 10.3 menunjukkan Nissan yang Joe Porcelli dan Dave Kimmins dari Operasi Z diubah menjadi listrik.

Tujuannya di sini adalah untuk membuat Anda menjadi motor listrik yang berfungsi sendiri dengan sedikit keributan, mengubah dari sasis kendaraan mesin pembakaran internal. Bagi mereka yang sedang membangun proyek dari awal dan proyek kit-car, ada buku lain yang dapat Anda baca, dan teknik yang dibahas di sini dapat disesuaikan.

Proses sebenarnya untuk konversi motor listrik Anda sangat mudah:

- Sebelum konversi (perencanaan)—siapa, di mana, apa, kapan,
- Konversi (melakukan)—sasis, mekanik, elektrik, dan baterai
- Setelah konversi (pemeriksaan)—pengujian dan penyelesaian

10.2 Sebelum Diubah

Sedikit usaha yang dikeluarkan sebelum konversi, dalam tahap perencanaan siapa-dimana-apa-kapan, dapat membayar dividen yang besar nanti karena Anda telah memikirkan apa yang Anda butuhkan sebelumnya dan tidak perlu berlarian di menit terakhir. Mari kita lihat masing-masing area.

10.2.1 Atur Bantuan

Ini adalah bagian "siapa". Bantuan datang dalam dua rasa: bantuan dari dalam dan bantuan dari luar.

Bantuan Dalam

Apakah itu mengangkat mesin, menarik kabel arus tinggi, memasang baterai, atau hanya mengurangi separuh waktu perakitan dan memiliki seseorang untuk diajak bicara saat Anda bekerja, seorang pembantu di dalam dapat bekerja dengan sangat baik. Sangat disarankan agar Anda menjadwalkan satu untuk semua tugas berat dan untuk semua/semua tugas lain yang sesuai untuk Anda.

Bantuan Luar

Ini melibatkan mensubkontrakkan seluruh tugas kepada para profesional yang lebih kompeten dan lebih cepat dalam melakukan spesialisasi mereka. Kandidat yang sangat baik untuk bantuan dari luar adalah dalam pelepasan mesin pembakaran internal dan fabrikasi komponen pemasangan motor listrik.

10.2.2 Atur Bantuan

Ini adalah bagian "di mana". Area kerja Anda dapat dimiliki atau disewa atau dipinjam, tetapi harus cukup besar, cukup bersih, cukup dipanaskan atau didinginkan, dengan layanan listrik yang ringan dan sesuai tersedia untuk memenuhi kebutuhan Anda selama waktu yang dibutuhkan konversi Anda. Mari kita lihat daftar periksa apa yang harus Anda cari.

Kepemilikan atau Sewa

Anda akan membutuhkan ruang untuk 80 hingga 100 jam waktu kerja atau lebih satu hingga tiga bulan waktu kalender dan lebih tinggi. Jika Anda menggunakan garasi dua mobil Anda sendiri untuk proyek tersebut, aturan rumah tangga mendikte Anda untuk tidak memberi tahu istri atau suami Anda, "Saya hanya membutuhkannya sebentar, Anda tidak keberatan memarkir Porsche Anda. dijalkan?" Rencana ke depan. Ini akan memakan waktu setidaknya beberapa bulan.

Solusi alternatif adalah dengan menyewa ruang yang Anda butuhkan. Ini bisa apa saja mulai dari garasi tetangga yang tidak digunakan hingga loker penyimpanan umum yang besar hingga ruang di garasi lokal. Pada titik tertentu konversi Anda akan terlihat seperti dinosaurus dengan tulang-tulangunya berserakan; di sisi lain itu akan menjadi sangat berantakan dan berminyak; di tempat lain Anda mungkin perlu memasang derek ke balok di atas kepala yang dapat menopang berat mesin yang Anda lepaskan; dan paling sering Anda akan memiliki komponen senilai lebih dari beberapa ribu dolar.

Alternatif lain adalah melakukannya sebagai dua langkah. Jika Anda memiliki bagian mesin pembakaran internal yang dilepas oleh seorang profesional, kemudian derek bodi sasis Anda ke area kerja Anda untuk konversi, tidak perlu lagi area kerja yang besar dan balok langit-langit yang berat, dan tidak akan menjadi kotor.

Ukuran

Secara realistis, konversi motor listrik akan memenuhi kebutuhan garasi atau loker penyimpanan untuk satu mobil. Meskipun bisa dilakukan, Anda akan merasa sesak, jadi mengapa tidak melakukannya dengan benar sejak awal. Kecuali jika Anda memilih pendekatan dua langkah yang baru saja disebutkan, Anda memerlukan setidaknya garasi dua mobil atau jumlah ruang yang setara.

Pemanasan, Pendinginan, Pencahayaan, dan Daya

Sesuaikan diri Anda di sini. Anda akan bekerja di tempat ini selama beberapa bulan. Mengapa tidak melakukannya dalam kenyamanan dan kemudahan?

10.2.3 Atur Peralatan

Ini adalah bagian "apa". Alat apa yang Anda perlukan untuk melakukan pekerjaan itu? Jika Anda harus masuk ke area dan alat yang tidak Anda kenal, mungkin sebaiknya Anda mensubkontrakkan tugas-tugas tersebut ke profesional luar. Sedikit pemikiran ke depan di area ini memungkinkan Anda dengan cepat memilah tugas-tugas yang ingin Anda kerjakan versus yang ingin Anda lakukan sendiri, semuanya hanya dengan menggunakan kriteria alat.

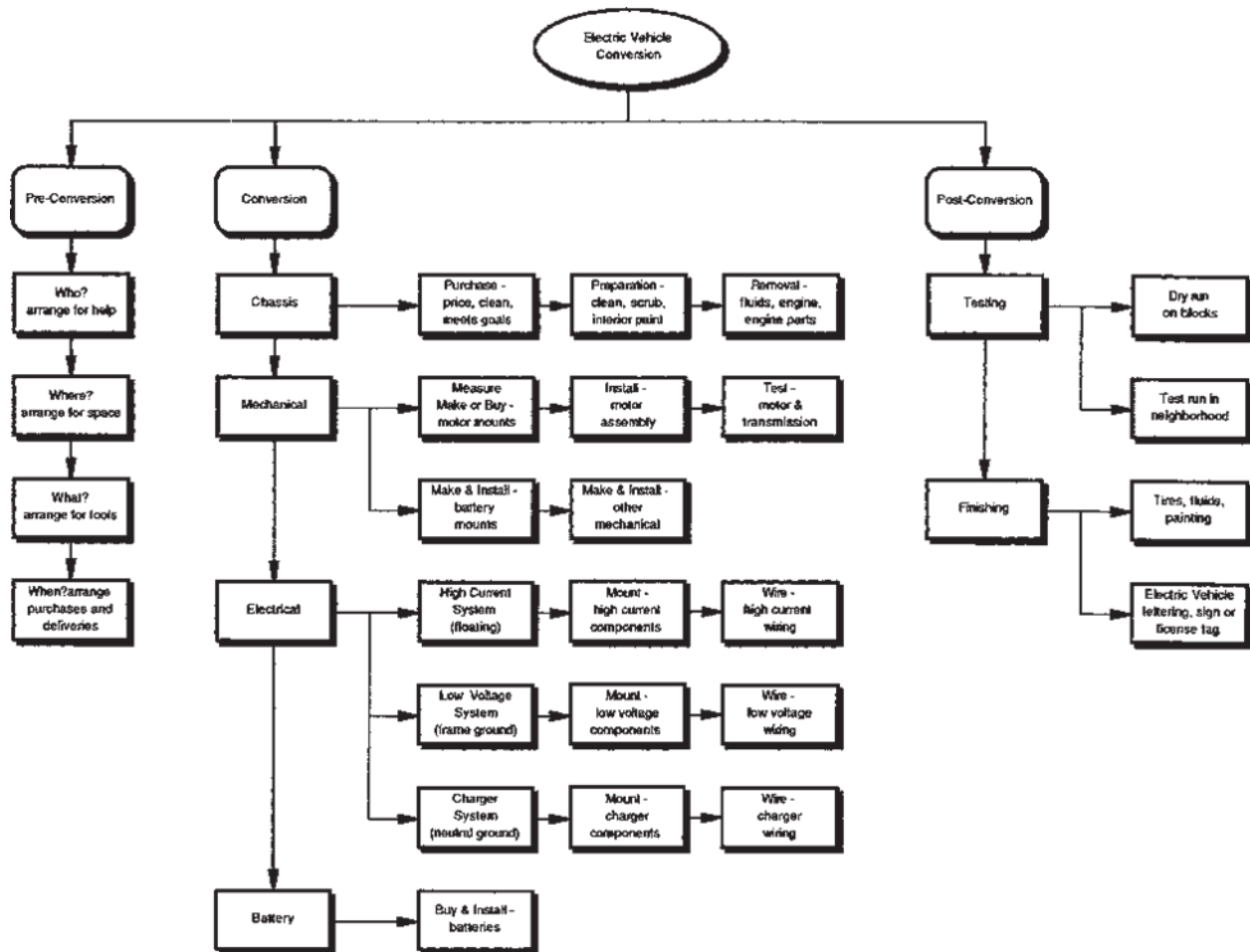
10.2.4 Atur Pembelian dan Pengiriman

Ini adalah bagian "kapan". Idealnya, Anda memiliki pengaturan tepat waktu bagian yang tepat yang Anda butuhkan muncul secara ajaib melalui pintu tepat saat Anda membutuhkannya. Realitas mungkin kurang dari ini, tetapi tidak ada yang menghentikan Anda untuk menetakannya sebagai tujuan Anda dengan memikirkan apa yang akan Anda butuhkan saat sebelumnya.

10.3 Perubahan

Perencanaan konversi dapat membayar dividen yang lebih besar. Seperti yang Anda lihat dari Gambar 10.4, ada empat bagian konversi, atau tahap mengerjakan, dan masing-masing dibagi lagi:

- Sasis —Pembelian, persiapan, pelepasan suku cadang mesin pembakaran dalam.
- Mekanik —Fabrikasiudukan motor, pemasangan motor, dudukan baterai, dan fabrikasi dan pemasangan komponen mekanis lainnya.
- Listrik —Komponen dan kabel sistem arus tinggi, tegangan rendah, dan sistem pengisian daya.
- Baterai —Pembelian dan pemasangan baterai.



Gambar 10.4 Ringkasan Proses Konversi Motor Listrik.

Cara sederhana untuk melihat prosedurnya adalah: beli dan bersihkan sasis, lepaskan semua suku cadang mesin pembakaran internal, buat atau beli suku cadang untuk memasang motor dan baterai, pasang dan sambungkan suku cadang listrik, lalu beli dan pasang baterai.

10.4 Chassis

Bagian sasis melibatkan fase pembelian, persiapan, dan pelepasan. Dengan kata lain, Anda melakukan semua yang diperlukan untuk membuat sasis yang akan Anda konversi siap untuk konversi. Mari kita lihat lebih dekat setiap langkahnya.

10.4.1 Beli Chassis

Langkah pertama dalam konversi langkah demi langkah adalah membeli kendaraan yang akan Anda ubah menjadi listrik. Sebagai insentif tambahan, lihat lagi Gambar 10.1, 10.2, dan 10.3. Ini adalah foto-foto konversi yang telah selesai. Perhatikan, dalam setiap kasus, kendaraan itu benar-benar stok di luar (Jim Harris

memang menambahkan hidung yang mulus di tempat gril model 1993). Paul Little melakukan pekerjaan di Porsche tidak seperti yang lain. Kru Operasi Z membangun mobil hebat dari Nissan yang juga tidak ada duanya. Semuanya mencontohkan tentang apa sebenarnya membangun kendaraan listrik Anda sendiri.

(Catatan: Bob Brant suka menyebutkan bahwa satu-satunya hadiah adalah huruf. Jika Anda ingin akselerasi, pastikan untuk membuat kata "LISTRIK" di bagian belakang bak truk Anda besar.)

Rincian pembelian sasis dibahas di Bab 5; intinya adalah untuk mendapatkan yang terbaik untuk yang paling sedikit. Anda menginginkan 4 silinder yang dilucuti (6 silinder dalam beberapa model dan tahun), transmisi manual, versi paling ringan. Idealnya, Anda tidak memerlukan mesin sehingga Anda dapat melakukan *trade-out* dengan dealer atau pihak penjualan di tempat. Pastikan saja segala sesuatunya sedekat mungkin dengan kondisi lari yang sempurna. Yang terpenting, pastikan ada sedikit atau tidak ada karat; bersih juga bagus. Bagian mekanis yang dapat Anda ganti, tetapi bodi yang berkarat hampir tidak mungkin ditangani; kotoran dan kotoran hanya memperburuk kondisi dan mungkin menyembunyikan masalah tambahan.



Gambar 10.5 Saat Anda memulai dengan kendaraan baru.

Di sisi lain, Anda dapat memulai dengan showroom-kendaraan baru seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.5 dan memiliki konversi yang akan sangat Anda banggakan. Selain itu, memindahkan segala sesuatu dari kompartemen mesin yang penuh sesak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.6 lebih mudah karena semua bagiannya bersih dan tanpa kotoran jalan yang menumpuk.

10.4.2 Beli Komponen Lain

Setelah memilih sasis, Anda dapat membuat keputusan suku cadang lain berdasarkan sasaran kinerja keseluruhan: jarak tempuh tinggi, akselerasi cepat, atau komuter serba guna. Jangkauan dan akselerasi kendaraan yang diharapkan dapat dihitung dari berat total kendaraan, hambatan guling ban, aerodinamika, dan jumlah energi dan daya yang tersedia dari motor dan baterai.

Salah satu cara termudah dan tercepat untuk melakukan konversi Anda adalah memesan semua suku cadang yang Anda butuhkan dalam satu kit dari seseorang seperti KTA Services Inc. Kit mereka biasanya berisi suku cadang yang ditunjukkan pada Gambar 10.7; Anda mendapatkan hampir semua yang Anda butuhkan untuk menyelesaikan konversi Anda, bagian-bagiannya dicocokkan untuk bekerja sama, dan Anda memiliki seseorang untuk dihubungi jika Anda memerlukan bantuan tambahan. Membeli kit yang sudah dikemas akan sangat menyederhanakan konversi Anda baik dari segi apa yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan dan waktu yang diperlukan untuk menjalankan dan mendapatkan semua suku cadang yang Anda butuhkan dari berbagai vendor, pastikan mereka cocok, dan sebagainya.



Gambar 10.6 Anda Memulai Dengan Kompartemen Mesin Yang Penuh Namun Bersih.

Suku cadang untuk membangun konversi truk pickup khusus ini (dan truk pickup pada umumnya) tersedia dari perusahaan Jim Harris, Zero Emission Motorcars, Inc. Perusahaan Jim menyediakan kotak kontrol dan adaptor motor-ke-transmisi built-up yang benar-benar menghemat Anda waktu dan hasil jaminan, atau seluruh kit untuk truk pickup mid-range atau low-end pilihan Anda, yang mencakup semua pegas koil tugas berat, braket baterai, kabel, perangkat keras pemasangan, dll.

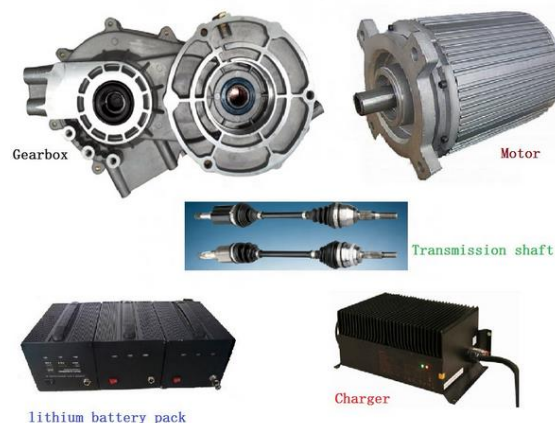
Item lain yang ingin Anda pesan saat ini adalah perawatan toko terperinci dan manual kelistrikan untuk sasis Anda. Ini mungkin juga tersedia di perpustakaan atau di toko buku teknis di kota yang lebih besar. Pelajari ini sebelum memulai konversi Anda.

10.4.3 Siapkan Chassis

Langkah selanjutnya adalah membersihkan sasis dan melakukan beberapa pengukuran. Langkah pembersihan sasis pertama adalah membersihkan ruang mesin dengan uap yang baik. Sasis yang digunakan dengan baik mungkin memerlukan pembersihan ekstra untuk menghilangkan kotoran dan kotoran yang terkumpul. Ini memiliki dua tujuan: meminimalkan minyak dan kotoran yang harus Anda tangani dalam pelepasan suku cadang, dan Anda dapat melihat apa yang perlu Anda lihat dan ukur. Anda bahkan mungkin ingin mengecat ulang area kompartemen mesin saat ini.

Langkah pengukuran melibatkan penentuan posisi transmisi/*drivetrain* atau *transaxle* di kendaraan mesin pembakaran internal Anda dan mereproduksi posisi ini sedekat mungkin di motor listrik Anda. Sasis mesin pembakaran internal Anda akan memiliki salah satu dari tiga kemungkinan pengaturan *engine-drivetrain*:

- Mesin depan, transmisi, dan *driveshaft* yang dipasang di samping
- Mesin depan pemasangan melintang dengan transaxle
- Mesin belakang dengan transaxle (gaya VW)



Gambar 10.7 Kit kendaraan listrik.

Sasis konversi truk pickup hampir selalu berurusan dengan salah satu dari dua variasi pertama. Dua pengukuran penting: ketinggian vertikal dari rumah transmisi

ke lantai (diukur pada permukaan yang rata); dan titik referensi vertikal dan horizontal pada rumah transmisi ke bodi atau rangka.

Jarak vertikal dari lantai penting dalam setiap konversi di mana dudukan motor Anda juga mendukung transmisi Anda. Anda ingin mereproduksi ini sedekat mungkin sehingga *tranny* Anda tidak berjalan menanjak atau menurun dari cara awalnya.

Sebuah *firewall* atau tanda keselarasan horizontal dan vertikal bingkai juga penting. Ini membantu dalam mendapatkan keselarasan mekanis yang tepat dari bagian kawin nanti. Tulis tanda ini secara akurat dengan penusuk atau paku dan sorot dengan setetes cat semprot atau cat sentuhan sehingga Anda dapat menemukannya nanti.

10.4.4 Melepaskan Bagian Chassis

Langkah selanjutnya adalah menguras cairan sasis, lepaskan semua bagian kompartemen mesin yang menghalangi pelepasan mesin, lepaskan mesin, dan kemudian lepaskan semua bagian terkait mesin pembakaran internal lainnya.

Proses pelepasan suku cadang dimulai dengan menguras semua cairan terlebih dahulu: oli, cairan transmisi, pendingin radiator, dan bensin. Ingatlah untuk membuang cairan Anda dengan cara yang ramah lingkungan atau mendaur ulangnya. Menguras bensin dari tangki Anda sangat berbahaya dan rumit—matikan rokok Anda sebelum mencobanya. Tiriskan sebanyak mungkin sebelum Anda mengeluarkan tangki secara fisik. Mengosongkan sistem pendingin udara, jika kendaraan konversi Anda memilikinya, adalah pekerjaan yang sebaiknya diserahkan kepada seorang profesional.

Selanjutnya, lepaskan baterai dan lepaskan semua kabel yang terhubung ke mesin. Putuskan sambungan throttle dengan hati-hati dan jauhkan dari bahaya. Kemudian singkirkan semua yang mungkin mengganggu proses pengangkatan mesin. Kap adalah item yang baik untuk memulai, diikuti oleh radiator, selubung kipas, kipas, selang pendingin dan pemanas, dan semua saluran bahan bakar. Putuskan sambungan manifold dan lepaskan sistem pembuangan saat ini juga.

Jika area kerja Anda tidak dilengkapi untuk pengangkatan berat (mesin 4 silinder terkecil dengan aksesoris yang terpasang dapat memiliki berat sekitar 300 lbs.), Anda mungkin akan lebih baik dengan membiarkan seorang profesional menangani pekerjaan berat tersebut. Toko perbaikan mesin biasanya senang

melakukan pekerjaan itu dan Anda mungkin dapat membuat kesepakatan dengan mereka untuk mesin dan suku cadang yang menghasilkan keuntungan bersih pada transaksi tersebut. Selain itu, ada sejumlah aspek lain menguras cairan, menyimpan suku cadang, tidak merusak kabel dan kabel dan tindakan fisik untuk benar-benar melepas mesin tanpa merusak Anda, sasis, atau mesin Anda. Untuk menggunakan analogi, ini seperti mengganti oli motor Anda sendiri di rumah versus di Valvoline. Dibutuhkan beberapa jam dan Anda harus membersihkan kekacauan (diri Anda dan tempat Anda). Orang-orang Valvoline, yang melakukannya untuk mencari nafkah, membutuhkan waktu 10 menit dan baik mereka maupun Anda tidak menjadi kotor.

10.5 Mekanik

Bagian mekanis melibatkan semua langkah yang diperlukan untuk memasang motor, dan memasang dudukan baterai dan bagian mekanis lainnya. Dengan kata lain, Anda selanjutnya melakukan semua langkah mekanis yang diperlukan untuk konversi. Anda mengikuti urutan ini karena Anda ingin semua pengeboran berat, membenturkan, dan mengelas bersama dengan serutan atau sisa logam yang terkait dibersihkan dan disingkirkan dengan baik sebelum menangani komponen dan tugas listrik yang lebih rumit. Mari kita lihat lebih dekat langkah-langkahnya.

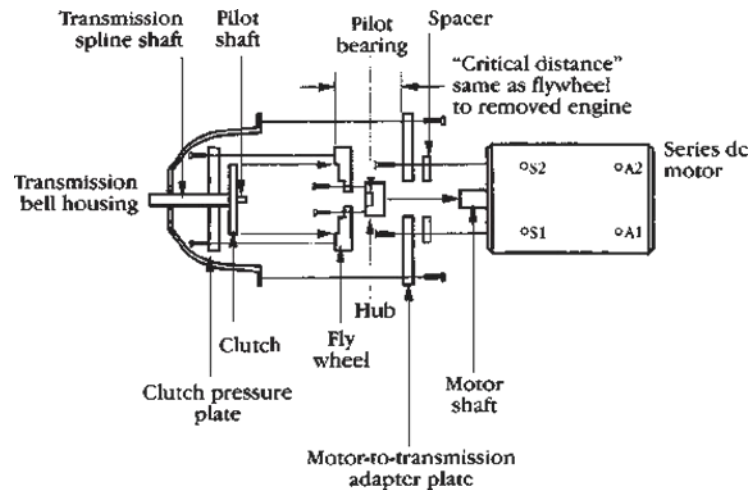
10.5.1 Memasang Motor Listrik Anda

Misi Anda di sini adalah memasang motor listrik baru ke drivetrain mekanis yang tersisa. Antarmuka kopling-ke-roda gila adalah titik kontak Anda. Gambar 10.8 memberikan gambaran umum tentang tugas Anda dalam bentuk umum. Gambar 10.9 menunjukkan kepada Anda kompartemen motor besar yang dirancang oleh Paul Little di EVPorsche.com. Saat Anda membalikinya dan meletakkannya di bagian bawah, Anda akan melihat betapa pasnya motor nanti di bab ini. Empat elemen terlibat:

- Antarmuka jarak kritis *flywheel-to-clutch*
- Penyangga belakang untuk motor listrik
- Pelat adaptor penopang depan-motor-ke-transmisi
- Koneksi roda motor melalui hub atau kopling

Kami akan membahas apa yang terlibat di masing-masing dari empat area ini secara berurutan. Pahami bahwa diskusi ini harus digeneralisasi karena setidaknya ada selusin solusi bagus untuk kendaraan apa pun. Jadi kita akan berbicara secara umum di sini. Anda harus menerjemahkannya ke kasing unik Anda sendiri. Dan jika keahlian Anda tidak mencakup pemesinan presisi suku cadang logam otomotif, ini

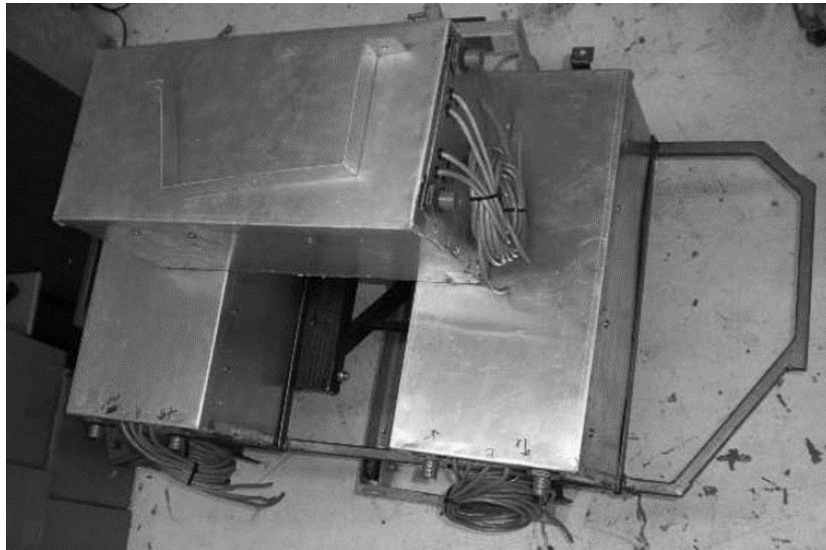
adalah area bagus lainnya untuk meminta layanan profesional seperti Layanan KTA, perusahaan Jim Harris, atau toko mesin lokal.



Gambar 10.8 Elemen Motor Listrik Ke Proses Penyambungan Transmisi Mekanis.

Jarak Kritis—Antarmuka Roda ke Kopling

Setelah Anda melepaskan mesin dan sebelum Anda melepas flywheel, ukur jarak dengan hati-hati dan akurat dari bagian depan mesin ke muka flywheel (bagian yang disentuh kopling). Ini adalah jarak kritis yang ingin Anda ulangi dalam pengaturan pemasangan motor listrik Anda. Pada konversi Ford Ranger 1987, pengukuran jarak kritis ini adalah 1,750 inci, tetapi akan bervariasi untuk kendaraan yang berbeda. Anda akan memasang pelat adaptor pada motor listrik, memasang hub atau kopling pada poros motor listrik, dan memasang *flywheel* ke hub ini. Setelah Anda selesai melakukannya, jarak kritis dari bagian depan roda gila ke bagian depan pelat adaptor motor (lihat Gambar 10.8) harus diukur persis sama.



Gambar 10.9 Dudukan motor listrik dari EVPorsche.com.

Mengetahui tujuan Anda memudahkan Anda untuk mencapainya. Apakah Anda memiliki mesin depan plus transmisi atau mesin depan atau belakang plus transaxle, tujuan ini akan sama, meskipun secara spesifik akan berbeda.

Roda Anda mungkin memiliki berat 24 pon. dan memiliki ring gear yang terpasang (untuk motor starter). Lepaskan roda gigi cincin yang pas di sekitar tepi luar roda gila dan buat roda gila dikerjakan hingga 12 lbs. atau lebih dengan menghilangkan logam dari tepi luar dan belakangnya (bagian yang menghadap motor). Jangan sentuh bagian muka flywheel (kecuali ada luka bakar yang jelas atau cacat lainnya). Langkah-langkah ini sama sekali tidak merugikan flywheel Anda, namun menghemat bobot faktor terpenting dalam kinerja konversi motor listrik Anda.

Ini juga saat yang tepat untuk memeriksa kopling (lapisan dalam pelat tekanan kopling/kopling/roda "sandwich") secara menyeluruh. Jika kopling sudah tua (digunakan lebih dari 30.000 mil) atau jelas sudah aus, sekaranglah saatnya untuk menggantinya. Lihat juga segel dan dudukan transmisi dan ganti jika sudah terlalu aus. Ingatlah bahwa Anda akan menggunakan kopling Anda dengan cara yang sama sekali baru (tidak menggunakannya adalah deskripsi yang lebih baik, karena tidak ada yang perlu dihidupkan, Anda memasukkannya ke gigi terlebih dahulu), jadi kopling baru ini akan bertahan hingga 200.000 mil atau lebih.

Dukungan Belakang untuk Motor Listrik

Ini adalah area yang cukup sederhana. Pada dasarnya Anda memiliki dua kemungkinan: menopang motor di sekitar bagian tengahnya atau menopangnya

dari ujung yang berlawanan dengan koneksi penggeraknya ke transmisi atau transaxle.



Gambar 10.10 Motor listrik

Dipasang untuk diameter motor 7-inci hingga 9-inci.

Gambar 10.10 menunjukkan beberapa dudukan motor gaya menengah yang tersedia dari Layanan KTA yang mengakomodasi diameter motor listrik yang berbeda. Bagian bawah dudukan memiliki lubang baut yang menempel pada dudukan motor kendaraan Anda. Dua bagian tali baja melengkung mengelilingi motor dan menahannya dengan aman di tempatnya. Ini adalah metode pemasangan motor listrik yang disukai dan paling umum, terutama dalam ukuran yang lebih besar.

Dudukan ujung mirip dengan dudukan adaptor pelat muka motor; mereka dibaut ke permukaan ujung motor melalui lubang pemasangan, dan kemudian diikat ke rangka melalui peredam kejut karet (ban bekas) yang berat. Pendekatan ini sangat populer dengan konversi VW awal yang menggunakan motor listrik yang lebih kecil yang sudah terpasang dengan aman ke rumah transaxle di depannya.

Pelat Adaptor Pendukung Depan-Motor-ke-Transmisi

Disinilah kesenangan dimulai. Gambar 10.11 menunjukkan kepada Anda dua kit pemasangan motor dari Layanan KTA, di antara banyak kemungkinan. Kit adaptor VW Bug sederhana ditunjukkan di sebelah kiri pada Gambar 10.11; kit adaptor VW Rabbit yang lebih kompleks ditampilkan di sebelah kanan. Dengan kit mana pun, pelat besar di latar belakang tempat bagian lain bersandar adalah pelat adaptor motor-ke-transmisi.

Perhatikan ada dua pola cincin lubang baut di pelat pemasangan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.11, pola cincin bagian dalam dengan lubang pemasangan *countersunk* memungkinkan baut pemasangan kepala datar untuk memasang pelat pemasangan ke motor dan rata dengan permukaan pelat di

bagian dalam saat dikencangkan. Seperti juga ditunjukkan pada Gambar 10.11, pola cincin luar memungkinkan baut pemasangan kepala segi enam digunakan untuk memasang pelat pemasangan ke rumah bel transmisi dan untuk dikencangkan dengan kencang. Perhatikan pada Gambar 10.11 bahwa lubang tengah di setiap adaptor berukuran untuk mengakomodasi kerah di sekitar motor, atau diameter luar kopling. Ini dapat sangat bervariasi dari kasus ke kasus.



Gambar 10.11 Pemasangan motor listrik khas KTA Services Inc. Untuk VW Bug (kiri) dan VW Rabbit (kanan).

Spacer yang ditunjukkan pada Gambar 10.11 dan kedalaman yang sesuai dengan hub pada poros motor mengontrol pengukuran jarak kritis; sesuaikan ini sesuai kebutuhan.

Jika Anda membangun sendiri, aluminium setebal 1 inci adalah bahan bangunan pilihan. Potong pola atau templat karton Anda untuk menutupi bagian depan rumah lonceng sepenuhnya, temukan dan tandai dengan tepat bagian tengah poros transmisi (mungkin atau mungkin tidak berada di area tengah templat Anda), temukan dan tandai lokasi lubang baut pada depan, telusuri garis rumah bel di bagian belakangnya, dan rapikan pola Anda hingga 1 inci atau kurang menggantung di sekelilingnya (agar sesuai selera Anda secara estetika). Kemudian pindahkan pola lubang baut pemasangan motor listrik ke templat ini menggunakan pusat poros pilot transmisi sebagai referensi. Bawalah templat atau pola yang telah selesai ini ke toko mesin dan minta mereka untuk mereproduksinya dalam logam.

Jika Anda berada dalam mode *let's-get-it-done*, perusahaan Jim Harris membuat perakitan motor-ke-transmisi lengkap, dengan pelat adaptor dan bagian flywheel

dan hub/busing yang dicetak secara presisi, yang menjamin hasil sempurna untuk konversi Ford Ranger proyek.

Juga diperlukan batang torsi untuk menopang/menstabilkan kombinasi transmisi motor dan mencegah putaran berlebihan di bawah beban akselerasi tinggi. Batang panjang yang dapat disesuaikan ini biasanya dipasang di antara salah satu baut pelat adaptor-ke-transmisi dan rangka.

Koneksi Roda Gila ke Poros Motor

Ini adalah area yang paling tidak terstandarisasi. Hub atau kopling VW Bug (Gambar 10.11, kiri) adalah urusan empat baut dengan alur pasak (takik persegi di bukaan poros tengah) dan bukaan sekrup set (lubang di luar kopling). Hub atau kopling VW Rabbit (Gambar 10.11, kanan) adalah urusan enam lubang juga dengan alur pasak dan bukaan sekrup yang disetel. Kopling ditekan pas ke poros motor listrik, dan sekrup penyetel selanjutnya mengencangkannya. Gambar 10.9 menunjukkan kompartemen motor yang dibuat oleh *EVPorsche.com*. Mereka kemudian membalik kompartemen sehingga motor dapat masuk ke dalam kompartemen. Kemudian pengontrol dan pengisi daya duduk di sisi berlawanan dari motor.

Bantalan pilot yang ditunjukkan pada Gambar 10.8 cocok dengan hub dan berpasangan dengan poros pilot transmisi (transaxle tidak memerlukan bantalan pilot). Kopling menempel pada poros spline transmisi, dan pelat tekanan kopling pas di atasnya dan dibaut ke roda gila untuk menyelesaikan "sandwich."



Gambar 10.13 Lihat bagaimana motor dipasang ke dalam Kompartemen dari Gambar 10.9.

Hub (dengan atau tanpa bantalan pilot, dll.) akan sangat berbeda dalam ukuran dan bentuk untuk jenis kendaraan, transmisi, dan motor yang berbeda, namun

fungsinya sama. Anda harus menentukan apa yang Anda butuhkan dalam kasus khusus Anda. Hubungi Layanan KTA, Jim Harris, atau mekanik lokal Anda untuk membantu Anda jika Anda tidak yakin. Ini bukan waktu dan tempat untuk malu.

Pada Gambar 10.13, Paul Little menciptakan kompartemen besar ini yang memungkinkan motor masuk dengan sangat baik ke dalam kompartemen.

10.5.2 Memasang dan Menguji Motor Listrik Anda

Bergantung pada akumulasi keterampilan dan keberuntungan Anda, pemasangan motor Anda bisa berjalan lancar pertama kali atau melibatkan beberapa iterasi potong-dan-coba. Pendekatan dasarnya adalah memasang hub pada motor, memasang motor ke pelat adaptornya, memasang roda gila ke hub, mengukur jarak kritis untuk memastikan jaraknya persis sama dengan untuk mesin pembakaran dalam (tambahkan spacer sebagai diperlukan, dll.), lalu pasang rakitan yang sudah selesai ini ke transmisi. Winch yang digunakan untuk mengeluarkan mesin pembakaran internal mungkin adalah cara termudah untuk memasang rakitan motor Anda ke dalam kendaraan Anda (rakitan yang telah selesai memiliki berat lebih dari 150 lbs. dengan motor DC seri 20-hp), tetapi jack rantai (angkat depan kendaraan pada dongkrak berdiri terlebih dahulu) atau dolly pengangkat mesin juga akan berfungsi. Langkah pemasangan pada dasarnya adalah kebalikan dari langkah pelepasan: pasang rakitan di dua titik, lalu geser motor ke atas dan ke arah transmisi hingga poros sejajar. Setelah semuanya pas, kencangkan baut pada transmisi dan pada dudukan motor.

Untuk tes cepat, pertama-tama dongkrak kendaraan sehingga roda penggerak depan atau belakang tidak menyentuh tanah. Kemudian pasang kabel 2/0 di seberang terminal A2-S2 motor. Pasang kabel 2/0 lain dari terminal negatif baterai ke S1, Anda dapat meminjam baterai starter 12 volt yang baru saja Anda lepaskan untuk tujuan ini dan pasang kabel 2/0 lain ke terminal positif baterai, tetapi jangan sambungkan dulu. Dengan transmisi di gigi satu, sentuh sebentar kabel positif dari baterai ke A1 dan lakukan dua hal:

- Lihat apakah roda belakang (atau depan) bergerak
- Dengarkan suara-suara aneh atau gerinda, dll.

Jika roda bergerak, bagus. Jika roda bergerak dan tidak ada gerinda yang aneh, ini bagus dan Anda dapat melanjutkan ke langkah berikutnya. Jika Anda mendengar sesuatu yang aneh atau roda tidak berputar (dalam hal ini, pertama-tama pastikan baterai terisi daya), Anda perlu membuka kancing rakitan motor Anda dari tranny dan melihat masalahnya.

10.5.3 Fabrikasi Dudukan Baterai

Konversi pickup Ford Ranger Jim Harris 1987 menggunakan 20 baterai 6 volt. Jim memilih untuk memasang empat baterainya di area kompartemen mesin yang baru saja dikosongkan oleh pelepasan radiator, dan 16 baterai yang tersisa (dalam susunan empat kali empat) di area tempat tidur pickup. Dalam konversi pickup Ford Ranger Jim 1987, braket baterai belakang dipasang langsung ke rangka untuk kekakuan dan kekuatan maksimum serta pusat gravitasi terendah. Dimensi bingkai luar sedikit lebih besar dari dimensi susunan baterai empat kali empat untuk memungkinkan ekspansi baterai. Baterai bertumpu pada dasar kayu lapis kelas laut setebal 3/16 inci, dan dijepit di dalam rangka depan dan belakang dengan potongan kayu.

10.5.4 Komponen Mekanik Tambahan

Jim akhirnya menambahkan pegas daun belakang yang lebih berat untuk penanganan yang lebih baik pada konversi pikap Ford Ranger 1987-nya, dan pada konversi pikap Ford Ranger 1993-nya, ia menambahkan hidung halus sebagai pengganti kisi-kisi stok untuk karakteristik aliran udara yang lebih baik. Dalam praktiknya, keduanya akan ditambahkan pada titik ini dalam proses perakitan. Setiap bagian logam yang dibuat di dalam kompartemen mesin (bendungan udara, dll.) lebih baik dilakukan pada tahap ini karena lebih mudah didapat sebelum komponen listrik dan kabel dipasang. Guncangan, pegas koil dan daun, dan bagian tubuh luar juga paling baik ditambahkan saat ini saat Anda masih mengeluarkan alat berat.

10.5.5 Pembersihan dari Tahap Mekanik ke Elektrikal

Sebaiknya gunakan selang udara untuk membersihkan kompartemen engine dan area kotak pickup belakang konversi Anda setelah fase mekanis selesai. Ikuti ini dengan menyapu area kerja dengan sapu dan/atau pel basah. Alasan pembersihan ini adalah untuk meminimalkan kemungkinan potongan logam atau serutan menemukan jalan ke komponen listrik atau kabel Anda selama fase listrik.

10.6 Listrik

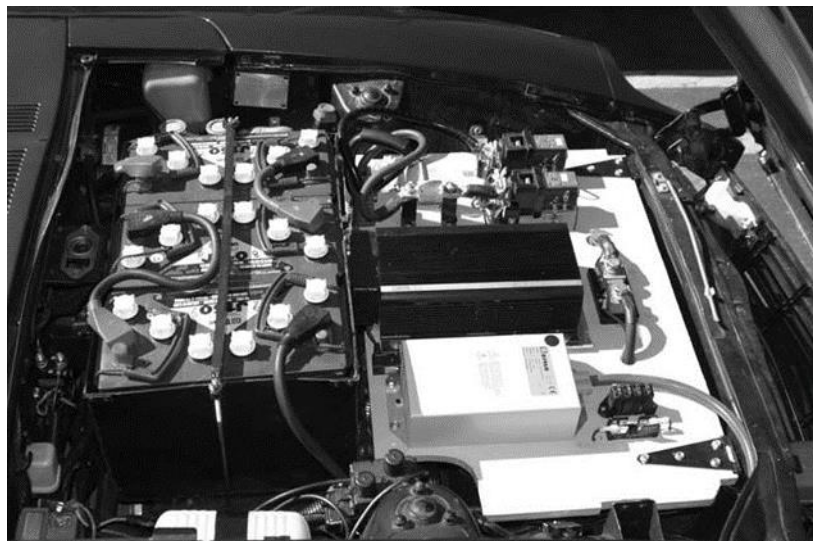
Bagian listrik melibatkan pemasangan komponen arus tinggi, tegangan rendah, dan pengisi daya dan melakukan kabel listrik untuk menghubungkannya. Untuk melakukan pengkabelan listrik, diperlukan pengetahuan tentang rencana pengardean motor listrik Anda: sistem arus tinggi mengambang, sistem tegangan rendah diarde ke rangka, dan sistem pengisian daya AC netral diarde ke rangka saat digunakan. Melakukan pemasangan kabel listrik juga melibatkan pengetahuan tentang rencana keselamatan motor listrik Anda: *interlock* listrik yang sesuai harus disediakan di setiap sistem untuk

memastikan sistem mati jika terjadi malfungsi, dan untuk melindungi dari mode kegagalan yang tidak disengaja. Pengkabelan listrik juga sangat difasilitasi dengan menggunakan pendekatan kotak sambungan, sehingga pengkabelan rapi (tidak ada kabel yang mengalir ke segala arah di dalam kompartemen mesin) dan Anda nantinya dapat melacak kabel Anda. Mari kita lihat lebih dekat langkah-langkahnya.

10.6.1 Sistem Arus Tinggi

Pertama Anda memasang komponen arus tinggi, lalu tarik kabel AWG 2/0 untuk menghubungkannya (langkah lain di mana penjadwalan penolong dalam sesuai). Lihat kembali Gambar 9.10. Perhatikan ada tujuh komponen di jalur arus tinggi (selain baterai dan pengisi daya, ini akan kami simpan untuk nanti):

- Motor DC seri
- Pengontrol motor
- Pemutus arus
- Kontaktor utama
- Sekering pengaman
- Shunt amperemeter
- Kunci pengaman



Gambar 10.14 Baterai Operasi Z terpasang pada tempatnya.

Pemutus sirkuit ini memiliki dua input dan dua output. Konverter motor listrik lainnya lebih suka memasang pemutus sirkuit ini dalam jangkauan pengemudi. Imbalannya adalah Anda harus menarik kabel daya AWG 2/0 yang berat di belakang dasbor atau lokasi lain di dalam kompartemen mengemudi. Manfaatnya adalah ketenangan pikiran yang diberikan dengan mengetahui bahwa jika

semuanya rusak (kontaktor dan kontak relai menutup las, dll.) ada satu sakelar yang dapat Anda jangkau dan sentuh untuk mematikan semuanya.



a

Gambar 10.15 EVPorsche.com WARP motor didalam kendaraan dipasang pada tempatnya.

Sekering pengaman arus tinggi, shunt ammeter, dan kontaktor utama semuanya terletak di dalam kotak sambungan yang akan dibahas sebentar lagi. Jim memilih untuk menerapkan interlock pengaman di sisi tegangan rendah daripada sisi arus tinggi. Mereka yang bersikeras pada pengaman arus tinggi yang dipasang di dasbor atau sakelar mematikan (biasanya dengan kenop merah besar di atasnya) harus menanggung rasa sakit karena menarik kabel AWG 2/0 ke atas, bawah, sekitar, dan melalui bagian belakang dasbor. AWG 2/0 yang sedang dibahas di sini terdampar (kawat padat hampir tidak mungkin digunakan dalam ukuran ini), kawat tembaga (tidak pernah aluminium) berinsulasi dan diameternya sekitar inci sehingga tangan Anda penuh.

Sistem arus tinggi memiliki tanah terapung. Ini berarti bahwa terminal negatif dari paket baterai tidak terhubung ke rangka atau badan pada titik mana pun. Ini menghilangkan kemungkinan alat las busur jatuh secara tidak sengaja ke bodi atau sasis atau, lebih buruk lagi, menyebabkan kendaraan Anda melesat maju atau mundur sekaligus menyebabkan baterai habis. Ini juga menghilangkan kemungkinan Anda menerima sengatan listrik 120 volt sambil dengan santai bersandar di atas spatbor untuk mengukur voltase baterai.

10.6.2 Sistem Tegangan Rendah

Di sisi tegangan rendah, idenya adalah untuk memadukan pengapian, pencahayaan, dan kabel aksesoris yang ada dengan instrumentasi baru dan kabel daya. Ada enam komponen utama pada sisi tegangan rendah:

- Saklar kunci
- Potensiometer throttle
- Ammeter, voltmeter, atau instrumentasi lainnya
- Kunci pengaman
- Baterai 12-volt aksesoris atau konverter DC-ke-DC
- Sekering pengaman

Setiap konversi motor listrik harus menggunakan sakelar kunci kontak yang sudah ada sebagai titik awal. Dalam motor listrik, sakelar kunci berfungsi sebagai sakelar hidup-mati utama dengan kenyamanan kunci—fitur start-nya tidak lagi diperlukan. Anda seharusnya tidak memiliki masalah dalam menemukan dan memasang kabel ke sakelar ini.



Gambar 10.16 Potensiometer Throttle Porsche Elektrik
(*Courtesy* dari CoolGreenCars.net).

Pengkabelan instrumentasi sederhana; pastikan untuk mengamati tanda polaritas meteran— tanda plus (+) pada meteran menuju ke terminal positif pada baterai. Ammeter terhubung melintasi shunt yang sudah terhubung ke sistem arus tinggi. Voltmeter melewati baterai. Solusi terbaik adalah memasang voltmeter sehingga voltmeter selalu menyala, memberi Anda pembacaan status baterai secara terus-menerus. Anda tidak perlu khawatir tentang menguras baterai karena resistansi internal voltmeter modern cukup tinggi untuk hanya menyebabkan pengurasan arus yang sangat kecil (urutan besarnya kurang dari tingkat *self-discharge* internal baterai itu sendiri).

Indikator baterai atau pengukur status pengisian daya juga melintasi baterai, tetapi harus beroperasi hanya saat sakelar kunci aktif, jadi sambungkan ke sisi *on-off* kontaktor utama (jauh dari baterai). Pengkabelan pengukur suhu tidak terlalu kritis; cukup amati polaritas dan pentanahan yang tepat, dan pastikan termistor terpasang dengan aman ke apa pun yang Anda ukur. Jim hanya menggunakan instrumentasi amperemeter dan voltmeter, dengan sakelar jangkauan yang dipasang di dasbor Ranger 1987.

Jika Anda ingin menggunakan pembacaan voltmeter digital yang lebih modern sebagai pengganti meter analog, Anda perlu menyesuaikan sirkuit sampel-dan-tahan DVM (mengingat nilai setiap saat) baik untuk menampilkan rata-rata beberapa saat terakhir' nilai *sample-and-hold*, atau untuk memberikan pembacaan yang stabil saat tombol baca ditekan. Jika tidak, tegangan atau arus yang berubah dengan cepat akan sulit untuk ditafsirkan.

Subjek interlock keselamatan adalah salah satu yang penting. Desain Jim menggunakan tiga semuanya disambungkan secara seri pada saluran sakelar kunci 12 volt tegangan rendah: sakelar dampak injeksi bahan bakar, sakelar pemutus pengaman utama, dan sakelar pemutus pengisi daya (akan dibahas di bagian "Sistem Pengisi Daya"). Peran normal sakelar dampak injeksi bahan bakar adalah mematikan sistem bahan bakar jika terjadi benturan. Jim menunjuk ke lokasinya di bawah sisi penumpang dasbor Ranger 1987. Sakelar pemutus pengaman utama adalah sakelar yang dipasang di dasbor dan sangat mudah diakses yang dihubungkan secara seri dengan sakelar kunci. Meninjunya segera menghilangkan tegangan energi dari kontaktor arus tinggi utama. Beberapa konverter motor listrik juga menggunakan sakelar interlock kursi yang terkunci saat keberadaan pengemudi di kursi terdeteksi. Anda mungkin ingin mempertimbangkan ini sebagai pilihan.

Jim memilih untuk menggunakan baterai sebagai sumber daya sistem aksesoris 12 volt. Anda dapat melakukan hal yang sama atau menggunakan konverter DC-ke-DC yang ditunjukkan pada Bab 9 yang digerakkan dari tegangan paket baterai utama. Jika Anda memilih konverter DC-ke-DC, sekaranglah saatnya untuk memasangnya dan memasangnya di tempatnya; sisi inputnya langsung melintasi terminal plus dan minus paket baterai utama. Sisi keluarannya memberikan +12 volt pada terminal positifnya, dan terminal negatifnya dihubungkan ke sasis. Jika Anda memilih untuk menggunakan baterai aksesoris siklus-dalam 12 volt, lakukan

pengkabelan sekarang tetapi tunggu hingga fase baterai untuk membeli, memasang, dan menyambungkannya.

Coba gunakan kawat tembaga berinsulasi AWG 12 (rating 20-amp) atau AWG 14 (peringkat 15-amp) untuk sistem tegangan rendah. Pengukur instrumentasi dapat dihubungkan dengan kabel AWG 16 atau bahkan AWG 18.

Sekering pengaman dari jenis 1-amp harus disambungkan ke seluruh potensiometer dan semua meter instrumentasi yang rumit. Sirkuit sakelar kunci dapat menggunakan panel sekering asli tetapi tidak menggunakan kabel asli untuk beban apa pun yang lebih besar dari 20 amp. Sekering utama harus dari jenis 10-, 15-, atau 20-amp.

Tidak seperti sistem arus tinggi, sistem tegangan rendah diarde ke rangka; terminal negatif baterai 12-volt (atau konverter DC-ke-DC) dihubungkan langsung ke rangka atau badan. Sebagian besar sasis mesin pembakaran internal datang dengan cara ini. Anda menghilangkan pengkabelan ulang, pengkabelan ekstra, dan loop ground potensial dengan menggunakan konvensi ground-to-frame negatif yang ada.

10.6.3 Kotak Penghubung

Desain kotak sambungan yang baik membersihkan gado-gado kabel instrumentasi yang berjalan ke segala arah di dalam kompartemen engine, memungkinkan Anda (pada orang lain) untuk menelusuri kembali kabel Anda nanti, dan menyediakan titik pemasangan dan pengikatan yang nyaman untuk berbagai komponen. Namun, tidak semua kotak persimpangan dibuat sama. "Kotak ajaib" Jim dan Paul lebih setara daripada kebanyakan—mereka menggabungkan desain dan tata letak sederhana dengan utilitas tinggi. Sekering pengaman arus tinggi (di tengah, di belakang kabel listrik), shunt ammeter (yang besar di tengah dinding belakang, yang kecil di depan kontaktor utama), dan kontaktor utama (di sisi kiri kotak) terbentuk, bersama dengan strip terminal, "tulang punggung" dari mana semua interkoneksi dibuat. Perhatikan semua sekering pengaman terletak di satu area yang nyaman di bagian belakang kanan kotak.

Sistem Pengisi Daya

Manfaat pengisi daya *on-board* adalah kenyamanan dan kemampuan untuk memanfaatkan peluang pengisian daya di jalan seperti yang disajikan. Tujuan ganda dalam memasang kabel sistem pengisian daya terpasang adalah untuk mencegah rutinitas pengisian menjadi pengalaman yang "mengejutkan" (melalui pembumian yang tepat), dan untuk mencegah gangguan sesaat yang

menyebabkan Anda mengemudi saat kabel pengisi daya masih terpasang (melalui interlock pengaman pengisi daya). Ada empat komponen utama pada sistem pengisi daya:

- Pengisi daya terpasang yang ringkas
- Penguat garis ringan (opsional)
- Pengaman pengisian daya interlock
- Sistem masukan AC



Gambar 10.17 Mobil Listrik Porsche "kotak ajaib" Paul Little untuk komponen.

Dalam konversi Ranger tahun 1987 Jim, ia memasang pengisi daya K & W BC-20 on-board di sisi pengemudi dari pelat pendingin aluminium, tepat di atas motor di kompartemen mesin, Booster saluran K & W LB-20, yang diperlukan oleh pengisi daya untuk pengoperasian 120 volt, dipasang di sebelah potensiometer throttle di sumur spatbor sisi pengemudi.

Lokasi yang disukai untuk sebagian besar sambungan pengisian input AC pada kendaraan konversi biasanya adalah lokasi yang dikosongkan oleh bukaan leher pengisi tangki bensin. Jim juga memilih untuk menerapkan konektor pengisi daya AC tiga cabang "twistlock" jantan, yang memungkinkannya menggunakan kabel ekstensi standar (satu ujung jantan, ujung lainnya betina) dengan colokan jantan di ujung kabel ekstensi yang dapat dipasangkan dengan nyaman. outlet layanan standar 120 volt AC perempuan.

(Pastikan untuk menggunakan kabel ekstensi tiga konduktor dengan setidaknya kabel AWG 12 di dalamnya.).

Untuk sistem pengisian daya, Anda harus menggunakan kabel tembaga berinsulasi AWG 10 (rating 30-amp) AWG 10 untuk sambungan pengisi daya ke baterai dan stopkontak masukan pengisi daya ke AC. Untuk mencegah Anda (atau siapa pun) mengemudi dengan santai dengan kabel ekstensi terpasang saat mengisi daya, ada baiknya menerapkan sistem interlock pengisi daya. Pendekatan Jim adalah menggunakan relai yang koilnya diberi energi oleh adanya 120 volt AC, dan kontaknya seri dengan saluran sakelar 12 volt. Ketika kabel saluran AC 120 volt dicolokkan, relai ini terbuka dan membuat paket baterai utama terputus dari pengontrol dan motor—kendaraan diimobilisasi.



Gambar 10.18 Opsi konektor pengisi daya AC



Gambar 10.19 Steker Pengisi Daya Terpasang.



Gambar 10.20 Koneksi Pengisian.

Konverter motor listrik lainnya juga telah menggunakan fitur interlock pengisi daya untuk memberi energi pada kipas kompartemen baterai (ventilasi paksa baterai) saat mengisi daya. Kemungkinan *interlock* tambahan meliputi: sensor yang menghambat *drive-away* ketika kondisi kesalahan kap kompartemen *engine* terbuka, kap kompartemen baterai terbuka, atau pintu akses konektor pengisian AC terbuka terdeteksi; dan sensor yang menghambat fungsi pengisian selama kondisi gangguan seperti kap mesin atau kompartemen baterai terbuka (karena Anda tidak ingin orang luar mencongkel saat arus pengisian dan gas baterai ada). Anda dapat mempertimbangkan salah satu dari opsi ini.

Untuk mencegah Anda (atau siapa pun) tersengat saat menyentuh bodi mobil listrik Anda saat sedang mengisi daya, bodi dan rangka harus diarde ke jalur netral AC (cabang ketiga konektor dengan kabel hijau mengarah ke sana). Kabel netral ini terhubung antara konektor input AC dan bodi atau rangka, dan hanya digunakan saat mengisi daya. Baterai harus mengambang dan bahkan mungkin diisolasi lebih lanjut dengan menempatkannya di dalam kompartemen atau kotak baterainya sendiri. Ini sangat sesuai untuk pemasangan baterai di dalam kompartemen penumpang yang tidak direkomendasikan (tetapi tetap dilakukan). Untuk menjamin tidak ada guncangan, pengisi daya tanpa transformator harus selalu memiliki pemutus gangguan ground yang terpasang, dan pengisi daya berbasis transformator harus dari jenis isolasi.

Jika Anda memilih untuk tidak menggunakan pengisi daya terpasang, ini akan mengubah rencana desain kabel dan interlock Anda. Dalam hal ini, Anda akan menyediakan input DC 140 volt pada arus hingga 30 amp dari pengisi daya stasioner. Anda juga perlu mengisi daya baterai aksesori 12 volt terpasang (kecuali jika Anda menggunakan konverter DC-ke-DC). Ini berarti input wadah pengisian daya Anda memerlukan setidaknya dua konektor: satu untuk kabel input plus dan

minus mengambang 140 volt arus tinggi, dan yang lainnya untuk kabel input plus dan minus 12 volt plus dan minus yang diarde-ke-frame bertegangan rendah. Desain interlock pengisi daya untuk pengisi daya *off-board* identik dengan kasing terpasang, kecuali bahwa Anda menggunakan relai yang koilnya diberi energi oleh tegangan DC 120 volt dan kontaknya dirangkai seri dengan sakelar kunci 12 volt. garis. Ketika kabel ekstensi 120 volt DC atau ekstensi 120 VAC (tergantung pada preferensi pengisian daya Anda) dari pengisi daya dicolokkan, relai ini akan terbuka, memutus paket baterai utama, dan melumpuhkan kendaraan.

10.7 Baterai

Membeli dan memasang baterai paket baterai propulsi utama Anda adalah langkah terakhir dalam proses konversi motor listrik. Anda membelinya terakhir karena Anda tidak ingin tersandung, Anda juga tidak ingin terus menagihnya selama berminggu-minggu (atau berbulan-bulan) perakitan. Ketika konversi motor listrik Anda hampir selesai, setelah semua bingkai pemasangan baterai dibuat dan pemasangan kabel selesai, Anda memasukkan baterai. Mari kita lihat lebih dekat langkah-langkahnya.

10.7.1 Instalasi Baterai

Pertimbangan terpenting dalam pemasangan baterai adalah memasangnya di lokasi yang mudah dijangkau untuk diservis nanti. Anda sebelumnya telah memutuskan jenis dan kuantitas baterai Anda, memperoleh dimensinya, mengalokasikan ruang pemasangan depan dan belakang Anda, dan merancang dan membangun bingkai pemasangan baterai Anda yang sedikit lebih besar untuk mengakomodasi ekspansi baterai saat digunakan. Yang tersisa hanyalah menginstalnya.

Dalam konversi Ranger tahun 1987 Jim, ia memasang empat baterai 6 volt di depan ruang kompartemen mesin. Jim memilih baterai Model Baterai AS 2200. Ini memberikan kapasitas 220-AH, sedikit kurang dari baterai Trojan T125 (235-AH) yang direkomendasikan dalam Bab 8. Ukuran (dan volume) kira-kira sama.

Kotak pickup belakang Jim empat kali empat dari 16 baterai 6 volt digunakan dengan pemutus sirkuit utama yang sekarang terhubung. Perhatikan kayu lapis telah dicat hitam agar sesuai dengan rangka baja dan rel sasis. Baterai dijepit di tempatnya dengan potongan kayu di sepanjang alasnya seperti saat memasang baterai depan. Rangka pengikat paket baterai atas lagi-lagi opsional kecuali Anda berencana untuk melakukan mengemudi yang kasar.



Gambar 10.21 Konektor baterai digunakan.

10.7.2 Pengkabelan Baterai

Pertimbangan terpenting dalam pemasangan kabel baterai adalah membuat sambungan bersih dan kencang. Periksa apakah Anda tidak secara tidak sengaja membalik kabel ke baterai apa pun di string saat Anda pergi. Periksa kembali pekerjaan Anda ketika Anda selesai, dan gunakan voltmeter untuk mengukur seluruh baterai yang sudah selesai untuk melihat bahwa itu menghasilkan 120 volt nominal yang Anda harapkan. Jika tidak, ukur setiap baterai secara terpisah untuk menentukan masalahnya. Jika kabel terbalik adalah penyebabnya, baterai yang dipasang dengan benar dan kabel harus memperbaikinya. Jika baterai yang habis atau rusak adalah penyebabnya, periksa apakah baterai muncul saat mengisi daya dan/atau menggantinya dengan baterai yang baik dari dealer Anda. “Baterai mati” yang diisi ulang akan mempersingkat masa pakai seluruh unit baterai. Harap berhati-hati untuk memeriksa semua baterai. Penting: Pastikan pemutus sirkuit utama mati sebelum Anda menghubungkan kabel daya terakhir di sirkuit baterai. Lebih baik lagi, matikan pemutus sirkuit utama dan tunggu hingga fase checkout sistem sebelum koneksi baterai terakhir.

10.7.3 Aksesori Baterai

Ini juga merupakan waktu untuk memasang baterai aksesori 12 volt Anda. Jim awalnya menggunakan baterai starter 12 volt yang disertakan dengan sasis konversinya karena dua alasan: baterai ini memungkinkan dia untuk melakukan pengujian komponen selama fase pengkabelan, dan baterai sudah terpasang dan terpasang di tempatnya (menyelamatkannya beberapa langkah).

10.8 Setelah Pengubahan

Ini adalah tahap checkout sistem, uji coba, dan sentuhan akhir. Pertama, pastikan semuanya berfungsi, lalu cari tahu seberapa baik kerjanya, lalu coba membuatnya bekerja lebih baik lagi. Ketika Anda puas, Anda melukis, memoles, dan menandatangani pekerjaan Anda. Mari kita lihat masing-masing area.

10.8.1 Sistem *Checkout* di Blok

Dongkrak roda penggerak kendaraan konversi Anda (atau angkat di tempat kerja) untuk fase ini. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa semuanya berfungsi dengan baik sebelum Anda mengendarainya di jalan. Dengan roda penggerak kendaraan Anda terlepas dari tanah dan transmisi di gigi satu, lakukan hal berikut:

- Sebelum menyambungkan kabel baterai terakhir, pastikan sambungan polaritas baterai yang benar telah dibuat ke terminal B1 dan B– pengontrol.
- Dapatkan resistor 100 hingga 200 ohm, 5- atau 10 watt, dan sambungkan ke terminal kontaktor utama. Dengan sakelar kunci mati tetapi kabel baterai terakhir terhubung dan pemutus sirkuit utama menyala, ukur tegangan melintasi terminal B1 dan B– pengontrol. Ini harus mengukur sekitar 90 persen dari tegangan paket baterai utama (di sekitar 108 volt) dengan polaritas yang benar untuk mencocokkan terminal. Jika ini tidak terjadi, pecahkan masalah koneksi kabel. Jika ya, Anda siap untuk memutar sakelar kunci.
- Hidupkan sakelar kunci dengan kaki Anda terlepas dari pedal akselerator. Jika motor berjalan tanpa pedal akselerator ditekan, matikan sakelar kunci dan atasi masalah koneksi kabel Anda. Jika tidak ada yang terjadi saat Anda menghidupkan sakelar kunci, lanjutkan ke langkah berikutnya.
- Dengan transmisi di gigi satu, tekan pedal gas secara perlahan dan lihat apakah roda berputar. Jika roda berputar, bagus. Sekarang lihat untuk melihat ke arah mana roda berputar. Jika roda berputar ke arah yang benar, ini dua kali lipat bagus. Jika tidak, matikan sakelar kunci dan pemutus utama dan tukar koneksi medan motor seri DC. Jika Anda bergerak ke arah yang benar, lanjutkan ke langkah berikutnya.
- Jika Anda memiliki opsi penonaktifan pedal tinggi pada pengontrol Curtis, matikan sakelar kunci, tekan pedal akselerator dan hidupkan sakelar kunci. Motor tidak boleh jalan. Sekarang lepaskan sepenuhnya kaki Anda dari pedal gas dan aplikasikan kembali secara perlahan. Motor harus berjalan seperti sebelumnya. Jika ini tidak bekerja dengan benar, pecahkan masalah koneksi kabel Anda. Jika berhasil, Anda siap untuk tes jalan. Matikan sakelar kunci.

10.8.2 Uji Coba Lingkungan

- Periksa status pengisian baterai utama Anda. Jika terisi penuh atau hampir penuh, Anda dapat melanjutkan. Jika tidak terisi daya, isi ulang sebelum mengambil langkah berikutnya. Terlalu memalukan untuk kehabisan jus pada pelayaran lingkungan pertama Anda — dan begitu Anda mengendarainya sedikit, Anda akan ingin mengendarainya lebih banyak lagi.
- Setelah baterai terisi penuh, lepaskan dongkrak dan/atau dudukkan roda dari bawah motor listrik Anda, buka pintu garasi (percayalah, ini langkah yang perlu),

periksa untuk melihat apakah semua alat, suku cadang, dan kabel listrik sudah terlepas jalur kendaraan, dan hidupkan sakelar kunci. Pasang gigi, lepas rem parkir, injak pedal gas, dan jelajahi lingkungan sekitar. Rapi, ya?

- Kendaraan harus memiliki akselerasi yang halus dan kecepatan tertinggi yang baik, dan harus mengerem dan menangani secara normal. Keheningan yang luar biasa seharusnya memungkinkan Anda untuk mendengar sesuatu yang tidak biasa dengan drivetrain, motor, atau kampas rem, dll. Sekarang, Anda siap untuk menjadi mewah.

10.8.3 Pengunjung Pertama Melakukan Pengambilan Kedua

Sebelum Jim dan Paul naik mobil listrik masing-masing, mereka langsung menarik perhatian. Jim baru saja memarkir konversi motor listriknya yang baru selesai dengan latar belakang pemandangan marina Chula Vista dan bersiap-siap untuk mengambil beberapa foto ketika seorang pegawai kota lewat dan berkata, "Hei, Anda tidak boleh parkir di sana."

Jim menjawab, "Saya hanya mengambil beberapa foto kendaraan listrik saya. Aku hanya sebentar."

"Kamu apa?"

"Kendaraan listrik."

"Mana mesinnya?"

Satu putaran cepat di sekitar lingkaran taman dan pegawai kota, sekarang menyeringai lebar, muncul dan berkata, "Wow, itu rapi. Ambil selama yang Anda suka." Anda juga bisa bersenang-senang dan mendapatkan teman baru.

Setiap kali Paul mengeluarkan Porsche listriknya untuk tes, orang tidak percaya tidak ada mesin atau suara dalam akselerasi. Di daerah Palm Beach Florida, mobilnya mendapat perhatian bukan hanya karena Porsche tetapi karena listrik.

10.8.4 Peningkatan Pendinginan

Jim memperhatikan setelah beberapa kali percobaan bahwa ia mendapatkan indikasi pemutusan termal yang tidak biasa pada pengontrol. Sebelum akhirnya mengisolasi pelakunya — itu adalah pengontrol marjinal yang dengan cepat diganti Curtis dengan garansi. Jim melakukan desain ulang termal dan mekanis di seluruh area elektronik kontrol.

Semuanya dapat diakses dari luar, dua kabel daya terpasang, dua kabel instrumentasi dicolokkan, dan kedua sekering dapat diakses dari luar casing.. Dalam desain ini pengontrol dibalik dan *heat sink* dipasang ke bagian bawahnya

(pelumas termal silikon disebarikan ke area tersebut untuk efisiensi pembuangan panas tertinggi). Paket gabungan kemudian dipasang secara terpusat di lokasi aliran udara kompartemen engine maksimum.

Ketika pengontrol pengganti dari Curtis dicolokkan ke tata letak baru, semuanya bekerja dengan baik tanpa ada lagi pemutusan termal.

10.8.5 Pendinginan Lebih Lanjut

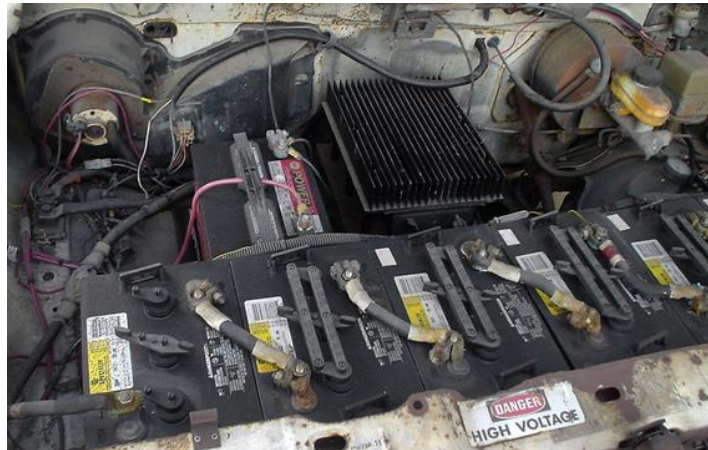
Mekanik abadi di Jim masih belum puas, ia ingin memiliki pengontrol pendinginan yang terlepas dari keanehan aliran udara kompartemen mesin. Jadi dia menambahkan kipas dan selubung pendingin terarah ke bagian atas unit pendingin. Dia juga memperluas ruang pemasangan antara kotak ajaibnya dan pengontrol (semuanya sekarang dipasang di pelat aluminium heat sink umum), dan memindahkan pengisi daya baterai ke spatbor sisi penumpang dengan baik — semuanya untuk memaksimalkan pendinginan dan aliran udara.

10.8.6 Cat, Poles, dan Tanda Mobil Listrik

Setelah semuanya berjalan sesuai keinginan Anda, inilah saatnya untuk "mucikari perjalanan Anda". Mengapa? Mobil adalah perpanjangan dari diri sendiri. Penampilan eksterior kendaraan mencerminkan Anda; Anda bangga dengan pekerjaan Anda dan ingin memamerkannya dengan cara terbaiknya. Tetapi tanpa tanda "LISTRIK" di luar, satu-satunya cara Anda dapat mengetahui mobil listrik bertenaga listrik adalah dengan melihat dari dekat melalui kisi-kisi depannya, di mana motor DC terlihat tepat di atas plat nomor (meskipun keheningan pasti akan membuat Anda mencurigakan).



Gambar 10.22 Ford Ranger dengan yang diubah menjadi motor listrik



Gambar 10.23 1993 Ford Ranger “kotak ajaib.”

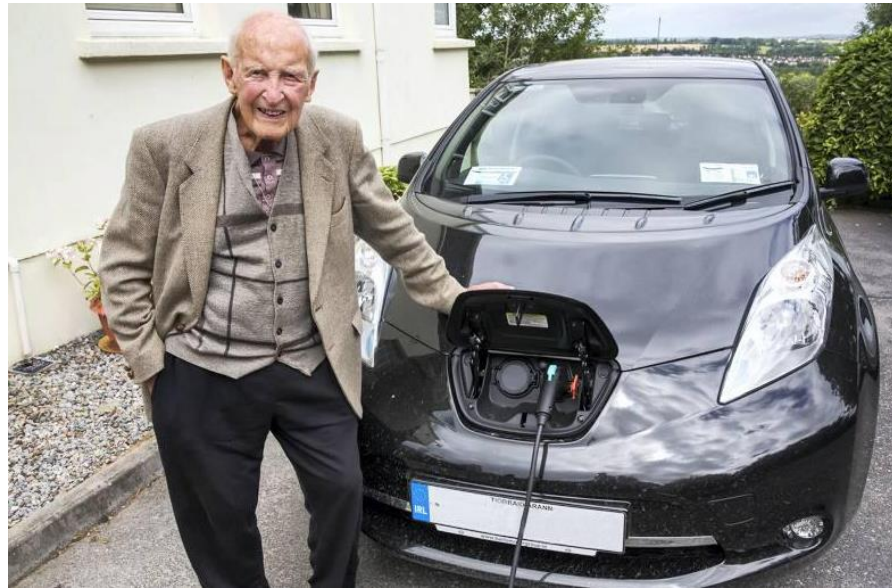
Karena hanya sedikit orang (jika ada) yang cenderung memeriksa konversi motor listrik Anda dengan cermat, Anda harus beriklan. Hanya diperlukan beberapa huruf besar yang ditempatkan dengan baik—atau label lisensi kendaraan listrik. Jim memilih untuk menempatkan surat-suratnya di kedua spatbor depan dan di bak truk. Itu membuat perubahan besar. Pastikan untuk membawa banyak lektur karena orang akan berbicara dengan Anda apakah bergerak (lingkungan atau jalan bebas hambatan) atau berhenti (dengan tudung di atas atau di bawah). Meskipun Anda dapat menarik kerumunan setiap kali Anda mengunjungi toko swalayan lokal — dan tentu saja di pompa bensin — Anda benar-benar dapat mengesankan teman kencan Anda sambil melambaikan tangan kepada orang-orang di jalan bebas hambatan saat Anda melewati mereka dengan kecepatan 75 mph dan melihat mulut mereka terbuka.

10.8.7 Maju dan Naik

Perhatikan evolusi "kotak ajaib" Jim untuk Ford Ranger 1993. Semuanya seperti pengontrol, kotak sambungan, unit pendingin, dan kipas, dikemas dalam selungkup logam pelindung yang sekarang dipasang di tengah di atas motor di kompartemen mesin. Dengan semuanya dalam satu kotak, Anda hanya perlu menyambungkan beberapa kabel—konversi menjadi lebih mudah dilakukan dan pengoperasiannya jauh lebih andal.

10.9 Tempatkan Diri Anda dalam Gambar

Sekarang setelah Anda melihat cara melakukannya, Anda dapat melakukannya sendiri. Ini adalah proyek yang sangat sederhana yang hampir semua orang dapat menyelesaikannya hari ini, hanya dengan meminta bantuan di beberapa tempat yang tepat dan memanfaatkan komponen kit hari ini dan paket konversi yang sudah dibuat sebelumnya.



Gambar 10.24 Tempatkan diri Anda dengan mobil listrik

BAB XI

MEMAKSIMALKAN MOBIL LISTRIK

Setelah Anda mendorong konversi motor listrik Anda di sekitar blok untuk pertama kalinya, saatnya untuk mulai merencanakan masa depan. Anda perlu melisensikan dan mengasuransikannya sehingga Anda dapat mengendarainya lebih jauh daripada hanya di sekitar blok. Anda juga perlu belajar caranya mengemudi dan merawatnya untuk memaksimalkan kesenangan berkendara Anda dan ekonomi serta umur panjangnya.

11.1 Seputar Perizinan dan Asuransi

Tidak seorang pun di mana pun akan secara serius mempertanyakan lisensi dan mengasuransikan konversi mobil listrik pickup Ford Ranger 1993 Jim Harris yang Anda temui di Bab 10. Kecepatannya mencapai 75 mph dan Ford telah menjamin kepatuhan sasisnya dengan standar keselamatan FMVSS dan NHTSA.

Di sisi lain, banyak yurisdiksi digunakan untuk menolak lisensi dan mengasuransikan kendaraan listrik gaya kereta golf buatan rumah dan / atau diproduksi secara komersial tahun 1970-an yang hampir tidak dapat mencapai 45 mph dan memang menimbulkan masalah keamanan. Itulah mengapa ada aturan FMVSS 500 yang memungkinkan kendaraan berkecepatan rendah untuk dikendarai. Mereka adalah motor listrik bergaya kereta golf; namun, mereka memiliki beberapa fitur keselamatan dasar dari kendaraan biasa (sinyal belok, lampu rem, lampu belakang, bumper, lampu mundur, dan suara). Kendaraan tersebut biasa disebut kendaraan berkecepatan rendah atau kendaraan listrik lingkungan dan tidak dapat melaju lebih dari 25 mil per jam dan hanya dapat dikendarai di jalan umum yang tidak melebihi 35 mil per jam. Selain itu, setiap negara bagian (di Amerika Serikat) juga harus menyetujui penggunaan kendaraan jenis ini di jalan raya. Sebagian besar negara bagian di Amerika Serikat mengizinkan NEV dikendarai di jalan umum.

Ujung spektrum mana yang mirip dengan konversi kendaraan listrik Anda hari ini secara langsung menentukan kemampuannya untuk menyelesaikan segala rintangan perizinan dan asuransi. Mari kita lihat lebih dekat di setiap area.

11.1.1 Mendapatkan Lisensi

Lisensi kendaraan apa pun berada di bawah yurisdiksi negara tempat ia tinggal. Semua kode kendaraan bermotor negara bagian, meskipun berdasarkan standar federal umum, hanya sedikit berbeda. Sementara sasis konversi kendaraan mesin pembakaran internal Anda mungkin sepenuhnya sesuai dengan standar

keselamatan FMVSS dan NHTSA federal, Anda perlu memeriksa apa yang dikatakan kode kendaraan bermotor negara bagian Anda. Jika Anda melakukan mobil listrik dari awal, Anda disarankan untuk memeriksa aturan dan peraturan ini terlebih dahulu.

Secara umum, beberapa negara bagian memiliki peraturan motor listrik khusus. Anda akan menemukan bahwa negara bagian dengan populasi kendaraan yang lebih besar, seperti California, New York, dan Florida, berada di ujung tombak dalam hal menetapkan pedoman untuk motor listrik. Periksa dengan departemen kendaraan bermotor negara Anda sendiri untuk memastikan.

Adapun proses perizinan, sebagian besar orang yang bekerja untuk Departemen Kendaraan Bermotor dan/atau Departemen Perlindungan Lingkungan untuk setiap negara bagian jauh lebih terlibat dengan sertifikasi asap atau DEQ (Departemen uality Lingkungan). Sangat penting bagi Anda untuk memeriksa peraturan dan peraturan kepatuhan kendaraan di negara bagian Anda masing-masing untuk melihat proses apa yang memungkinkan kendaraan listrik yang dikonversi untuk menerima pelat nomor. Namun, di sebagian besar negara bagian, memiliki konversi motor listrik membuat proses ini menjadi korslet. Faktanya, Anda dapat menawarkan untuk membeli makan siang seluruh tim inspeksi DEQ lokal jika meteran mereka menemukan emisi yang keluar dari motor listrik Anda sama sekali.

Di sebagian besar negara bagian Anda dapat menerima kredit pajak untuk kendaraan listrik dan ada juga kredit pajak federal untuk kendaraan listrik. Di beberapa area, Anda berhak atas pengurangan tarif daya listrik Anda. Periksa dengan utilitas lokal Anda dan pemerintah kota dan negara bagian untuk melihat apakah Anda dan motor listrik Anda berhak atas sesuatu yang serupa di wilayah Anda.

11.1.2 Mendapatkan Asuransi

Asuransi kurang lebih sama dengan perizinan. Anda tidak akan mengalami masalah dengan motor listrik Anda jika telah dikonversi dari sasis mesin pembakaran internal. Meskipun ini adalah proses untuk menjelaskan bahwa kendaraan telah diubah menjadi listrik dengan operator Anda, memiliki nomor identifikasi kendaraan (VIN) dan persetujuan dari Departemen Luar Negeri Kendaraan Bermotor akan memberikan kemudahan bagi sebagian besar perusahaan asuransi nasional besar dalam menjamin motor listrik untuk asuransi cakupan. Verifikasi bahwa desain Anda memenuhi persyaratan asuransi terlebih dahulu.

11.1.3 Catatan Kaki Keselamatan

Asumsi dasar saya di bagian ini adalah Anda akan mengutamakan keselamatan dalam daftar karakteristik yang diinginkan untuk motor listrik Anda yang dikonversi. Alur penalaran ini mengasumsikan Anda membiarkan sistem keselamatan sasis mesin pembakaran internal asli tetap utuh: lampu, klakson, kemudi, rem, rem parkir, sabuk pengaman, wiper kaca depan, dll. Ini juga mengasumsikan Anda memikirkan "keselamatan pertama" saat memasang komponen motor listrik baru Anda.

Secara khusus, sistem kontrol motor listrik Anda harus aman dari kegagalan dan memiliki kunci pengaman, dan baterai Anda harus dipasang untuk meminimalkan bahaya bagi orang, benda lain, atau diri mereka sendiri, baik dalam pengoperasian normal maupun jika terjadi kecelakaan. Jangan pernah berpikir untuk pergi ke janji inspeksi kendaraan jika desain motor listrik Anda dari awal atau konversi motor listrik standar Anda telah mengabaikan semua ini, atau sistem kontrol dan/atau baterai Anda tidak mengutamakan keselamatan.

11.2 Seputar Mengendarai dan Merawat Mobil Listrik

Kendaraan listrik lebih mudah dikendarai dan membutuhkan lebih sedikit perawatan daripada rekan pembakaran internalnya. Tetapi karena persyaratan mengemudi dan perawatannya berbeda, Anda harus menyesuaikan kebiasaan kendaraan mesin pembakaran internal yang Anda peroleh. Bagian mengemudi sangat mirip dengan pengalaman pengemudi stick-shift seumur hidup yang mengendarai kendaraan transmisi otomatis untuk pertama kalinya. Adapun pemeliharaan, ada banyak hal yang harus dilakukan, tetapi harus dilakukan dengan sungguh-sungguh. Mari kita lihat lebih dekat di setiap area.

11.2.1 Mengemudi Kendaraan Listrik Anda

Konversi motor listrik Anda mungkin masih terlihat seperti nenek moyang mesin pembakaran internal, tetapi penggerakannya sangat berbeda. Berikut daftar singkat pengingat:

Memulai Mengubah Mesin pada Kendaraan

Memulai konversi kendaraan listrik adalah sedikit ilmu. Tidak perlu menggunakan kopling saat start karena motor tidak berputar saat kaki Anda lepas pedal. Di sisi lain, ada kebutuhan yang sangat pasti untuk memilikinya karena Anda selalu ingin memulai motor DC seri Anda dengan beban di atasnya sehingga tidak lari ke RPM tinggi dan melukai dirinya sendiri. Jika Anda lupa dan tidak sengaja membiarkan

kopling (atau transmisi dalam keadaan netral), segera mundur ketika Anda mendengar motor listrik berputar.

Analisis terbaik yang pernah saya dengar adalah bahwa jika konversi kendaraan listrik Anda adalah paket yang lebih ringan (bukan pengontrol berbasis kinerja dan motor tugas berat), Anda dapat menghidupkan mobil di gigi dua tanpa masalah karena torsi motor listrik akan mendorong RPM (seperti Ford Ranger yang dibahas di Bab 10). Sedangkan kendaraan berperforma lebih tinggi (seperti Porsche yang dibahas dalam Bab 10) dapat dengan mudah distarter di gigi empat karena motor, pengontrol, dan baterai kendaraan akan memiliki persyaratan tegangan yang diperlukan untuk berakselerasi dari 0 hingga 60 dalam 4 hingga 6 detik.

Pergeseran

Jika Anda mengemudi di kota, sebagian besar Anda akan menggunakan dua gigi pertama. Semakin rendah gigi, semakin baik jangkauan Anda, jadi gunakan gigi serendah mungkin pada kecepatan tertentu. Namun, jika Anda mengemudi di jalan raya, berharap untuk memindahkan gigi lebih tinggi.

Mengemudi Ekonomis

Jika Anda mengawasi ammeter Anda saat mengemudi, Anda akan segera mempelajari cara paling ekonomis untuk mengemudi, memindahkan gigi, dan mengerem. Untuk jangkauan maksimum, tujuannya adalah menggunakan arus paling kecil setiap saat. Anda akan segera melihat perbedaan dalam balap drag dan mendaki bukit, baik mengubah kebiasaan mengemudi Anda atau berencana untuk mengisi ulang lebih sering.

Meluncur

Jika Anda tidak memiliki regenerasi, meluncur di motor listrik tidak seperti apa pun yang pernah Anda temui di kendaraan mesin pembakaran internal Anda — tidak ada kompresi mesin untuk memperlambat Anda. Anda perlu belajar bagaimana menjelaskan cara "berdenyut" dengan benar dan kapan. Saya telah naik dengan pengemudi yang menurunkannya selama tiga detik, lalu meluncur, meluncur, dan meluncur. Denyut yang berat tidak baik untuk kendaraan dan membuang-buang energi. Dalam kebanyakan mengemudi, kaki yang stabil lebih baik. Denyut ringan hanya merupakan keuntungan ketika sedikit daya yang dibutuhkan.

Regenerasi

Pengereman regeneratif adalah mekanisme yang mengurangi kecepatan kendaraan dengan mengubah sebagian energi kinetiknya menjadi bentuk energi

lain yang berguna. Energi yang ditangkap ini kemudian disimpan untuk digunakan di masa depan atau diumpankan kembali ke sistem tenaga untuk digunakan oleh kendaraan lain.

Misalnya, rem regeneratif listrik di kendaraan kereta api listrik memberi makan listrik yang dihasilkan kembali ke sistem pasokan. Dalam kendaraan listrik baterai dan listrik hibrida, energi disimpan dalam baterai atau bank kapasitor untuk digunakan nanti. Bentuk lain dari penyimpanan energi yang dapat digunakan termasuk udara terkompresi dan roda gila.

Banyak yang sekarang telah mengalami meluncur di mobil listrik hibrida. Seperti halnya hibrida dan menurut definisi, motor listrik dirancang seminimal mungkin, jadi manfaatkan karakteristik hebat ini. Belajarlah untuk memacu akselerator Anda dan meluncur ke lampu berikutnya atau ke kendaraan di depan Anda dalam lalu lintas.

Pemilik mobil listrik hybrid (terutama pemilik taksi NYC) memahami konsep ini. Saat Anda berakselerasi, Anda tidak perlu menurunkannya dan kemudian meluncur. Anda dapat perlahan menginjak pedal gas dan kemudian melepaskan kaki Anda dari pedal gas ke pantai. Saat Anda meluncur, Anda menggunakan pengereman regeneratif. Ini jauh lebih mulus dan penggunaan kendaraan yang lebih efisien karena bergerak maju dan mengisi daya pada saat yang bersamaan. Meskipun ada banyak orang yang memiliki motor listrik yang diubah menjadi mobil balap, regenerasi dapat menjadi bantuan yang sangat besar dalam sebagian besar mengemudi.

Menentukan Rentang

Gunakan voltmeter baterai sebagai pengukur bahan bakar bersama dengan odometer untuk memberi tahu Anda seberapa jauh baterai Anda dapat membawa Anda. Rekatkan catatan ke dasbor Anda atau gunakan buku catatan untuk melacak jarak tempuh yang telah berlalu antara pengisian penuh dan pembacaan voltmeter (misalnya, pembacaan voltmeter adalah x setelah Anda berkendara sejauh y mil) dan Anda akan segera mengetahui polanya. Ingatlah bahwa baterai Anda tidak akan mencapai kisaran puncaknya sampai Anda melakukan siklus dalam beberapa kali.

Kehabisan Daya

Sebelum Anda benar-benar kehabisan daya, keluarlah dari jalan! Jika Anda benar-benar kehabisan daya dan tidak dapat menemukan stopkontak, matikan sakelar

kunci Anda dan biarkan baterai Anda beristirahat selama 20 hingga 30 menit (matikan semua listrik lainnya saat ini juga). Hebatnya, Anda akan menemukan energi ekstra dalam baterai yang mungkin cukup untuk membawa Anda ke stopkontak yang Anda butuhkan. Kenyamanan pengisi daya onboard disambut terutama dalam keadaan khusus ini. Tidak baik terjebak di tengah jalan raya yang sibuk tanpa listrik. Anda harus memahami bahwa ada kehilangan daya yang signifikan sebelum kondisi tidak ada daya. Anda juga harus tahu bahwa pengosongan penuh sangat mempersingkat masa pakai baterai.

Gunakan Secara Berkala Motor Listrik

Kendarai mobil listrik Anda secara teratur, beberapa kali seminggu. Ingat, jam kimia di dalam baterai timbal-asam Anda terus berdetak baik Anda menggunakannya atau tidak, jadi gunakanlah. Lebih baik lagi, pikirkan berapa banyak uang yang Anda hemat dengan menggunakan motor listrik Anda. Baterai berkapasitas 20 6 volt 220-AH memberi Jim Harris' 1987 konversi Ford Ranger Bab 10 kapasitas terpasang 26,6 kWh (220 AH 3 120 volt).

Jika Jim mendapatkan jangkauan 60 mil dari satu kali pengisian, penggunaan energi rata-ratanya adalah 0,44 kWh/mi (26,6 kWh/60 mi). Pada rata-rata \$0,15 per kWh, itu berarti 6,6 sen per mil (0,44 kWh/mi 3 \$0,15 per kWh).

Jika Anda membandingkannya dengan bensin seharga \$4,50 per galon dan tipikal 25 mpg untuk pickup mesin pembakaran internal sebelum konversi, itu berarti 18 sen per mil (1/25 gal/mi 3 \$4,50 per gal). Itu hampir penghematan tiga banding satu — manfaatkan itu. (Catatan: Ketika kami memperbarui ini ke harga 2008, rasio harga lebih baik untuk kendaraan listrik dibandingkan rasio 1993 yang tetap stabil selama 50 tahun terakhir!)

11.2.2 Merawat Mobil Listrik Anda

Sekarang Anda mengemudi hanya dengan pengeluaran kecil, dibutuhkan sedikit lebih banyak untuk membuat kesenangan Anda lengkap. Sebenarnya, konversi motor listrik yang dirancang dan dibangun dengan benar hanya membutuhkan sedikit perhatian dibandingkan dengan kendaraan bermesin pembakaran internal. Itu tergantung pada perawatan dan pengisian baterai Anda, meminimalkan gesekan, dan pemeliharaan preventif.

11.2.3 Merawat Baterai

Tentu saja, Anda akan mengisi baterai Anda secara teratur, menggunakan panduan di Bab 8, jadi perawatan baterai benar-benar harus dilakukan dengan memeriksa

secara berkala untuk memastikan bahwa baterai Anda disiram dengan benar. Kehilangan air yang berlebihan merupakan tanda adanya masalah, biasanya pengisian yang berlebihan.

Jim Harris lebih suka menggunakan tutup "pemutusan cepat" Baterai AS. Ketiga tutup pada baterai 6 volt disatukan, dan flip cepat melepaskan semuanya, membuat penyiraman menjadi mudah. Gunakan air suling saja, bukan air yang mengalir dari keran keran Anda, yang mungkin mengandung banyak mineral. Amati kondisi puncak baterai saat menyiram; semprotan asam apa pun akan menempel pada bagian atas baterai dan menarik kotoran. Segera bersihkan dengan larutan air dan soda kue setelah mengganti semua tutup baterai seperti yang dijelaskan di Bab 8. Periksa juga terminal baterai dari korosi, dan perbaiki semua kekurangan dengan menggunakan larutan soda kue. (Catatan: Semua air suling adalah uap air yang terkondensasi. Saat ini biasanya dilakukan pada tekanan (dan suhu) yang dikurangi untuk menghemat energi. Reverse osmosis juga efektif dalam menghilangkan mineral.)

11.2.4 Merawat Ban

Ketahanan gelinding ban adalah kehilangan energi yang besar, jadi beralihlah ke ban dengan ketahanan gelinding rendah (jika memungkinkan) dan sering-seringlah memeriksa apakah ban Anda terisi angin dengan benar menggunakan pengukur ban bergaya meteran yang lebih akurat. Inflasi yang tepat berarti 32 psi dan lebih tinggi; Ban kendaraan listrik harus dipompa dengan keras. Ban khusus dengan ketahanan gelinding rendah yang dapat menangani 50 psi (atau lebih) tersedia untuk sebagian besar mobil. Bicaralah dengan spesialis ban lokal Anda tentang batas inflasi versus pemuatan. Juga, dengarkan untuk memastikan bahwa tidak ada sepatu rem atau bantalan yang menyeret, dll. (Catatan: ban 80 psi tersedia untuk banyak kendaraan. Penunjukannya dimulai dengan "LT.")

11.2.5 Minyak Pelumas

Berat viskositas cairan *drivetrain* Anda (pelumas transmisi dan gandar belakang) juga berkontribusi terhadap kerugian secara berkelanjutan, jadi bereksperimenlah dengan pelumas ringan di kedua area ini. Konversi mobil listrik menempatkan beban desain yang jauh lebih kecil pada drive train mekanis sehingga Anda harus dapat menurunkan ke pelumas 50-berat untuk gandar belakang dan tingkat cairan transmisi yang lebih rendah. Pertimbangkan pelumas sintesis dengan kerugian rendah.

11.2.6 Memeriksa Koneksi

Pemeliharaan preventif sebagian besar melibatkan pemeriksaan berkala sambungan kabel arus tinggi untuk kekencangan. Gunakan tanganmu di sini. Panas itu buruk itu berarti sambungan yang longgar dan apa pun yang bergerak saat Anda menariknya juga buruk. Beberapa kunci pas ujung terbuka dan kotak harus membuat pekerjaan rutin perawatan preventif pengencangan Anda cepat selesai.

11.2.7 Perlengkapan Darurat

Meskipun membawa beban ekstra di dalam pesawat adalah hal yang dilarang, membawa perlengkapan jalan raya kecil seharusnya cukup untuk memberi Anda ketenangan pikiran di jalan, mengetahui bahwa Anda telah merencanakan sebagian besar kemungkinan. Minimal, kit Anda harus memiliki: alat pemadam api kecil, sebotol kecil larutan soda kue, toolkit kecil (kunci pas, tang datar dan pemotong kawat, obeng, kawat, dan selotip), dan ekstensi pengisi daya tugas berat kabel dengan beberapa colokan adaptor (pria dan wanita).

BAB XII

MOBIL LISTRIK DI INDONESIA

Mobil listrik merupakan kendaraan yang sepenuhnya atau sebagiannya digerakkan oleh motor menggunakan tenaga listrik. Mobil ini merupakan salah satu inovasi terbaru dari dunia otomotif Indonesia. Sudah ada beberapa merek yang memperkenalkan bahkan menjualnya.

Penggunaan mobil listrik dinilai lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan mobil dengan bahan bakar minyak. Secara umum, bagian penting dari mobil listrik antara lain; Baterai, Motor listrik, dan Modul Pengontrol Motor.

Secara umum mobil listrik bekerja dengan cara sebagai berikut :

1. Ketika pedal pada mobil ditekan, maka controller akan mengambil dan mengatur daya listrik dari baterai traksi dan inverter.
2. Dengan pengaturan dari controller, kemudian inverter mengirimkan tenaga listrik dari baterai menuju ke motor listrik sesuai dengan yang dibutuhkan.
3. Setelah energi listrik dikirimkan ke motor listrik, kemudian motor listrik mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik berupa rotasi atau putaran.
4. Putaran dari motor listrik kemudian memutar transmisi yang disalurkan untuk menggerakkan roda mobil.

12.1 Peraturan Mobil Listrik Di Indonesia

Setiap kendaraan wajib diregistrasikan dan sesuai dengan persyaratan teknis yang diatur. Mengacu pada ketentuan Pasal 64 Ayat 1 Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Aturan pengoperasian kendaraan listrik juga dipertegas dalam Peraturan Pemerintah Nomor 55 Tahun 2012 tentang Kendaraan.

Pasal 7 huruf b

Susunan persyaratan teknis dalam pengoperasian kendaraan listrik di jalan :

- Rangka landasan
- Motor Penggerak
- Sistem Pembuangan
- Sistem penerus daya
- Sistem roda-roda
- Sistem Suspensi

- Sistem alat kemudi
- Sistem rem
- Sistem lampu dan alat pemantul cahaya
- Komponen pendukung lainnya

Pasal 6 PP Nomor 55 Tahun 2012 menyebutkan setiap kendaraan yang dioperasikan diruas jalan harus memenuhi persyaratan teknis :

- Susunan
- Perlengkapan
- Ukuran
- Karoseri
- Rancangan teknis kendaraan sesuai dengan peruntukannya
- Pemuatan
- Penggunaan
- Penggandengan kendaraan dan/atau penempelan kendaraan

12.2 Produsen Mobil Listrik Di Indonesia

Pemerintah Indonesia terus mendorong penggunaan mobil listrik. Bahkan, pemerintah menargetkan pada 2025, 20% dari kendaraan yang diproduksi di Indonesia merupakan mobil *Low Carbon Emission Vehicle (LCEV)* termasuk di dalamnya kendaraan listrik.

Target tersebut juga merujuk pada Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 terkait mobil listrik. Perpres itu diteken Presiden Joko Widodo (Jokowi) pada Senin (5/8/2019). Dalam Perpres tersebut, pemerintah menargetkan pengembangan mobil listrik mencapai 2.200 unit, hybrid 711.000 unit, dan 2,1 juta unit sepeda motor listrik pada 2025.

Berikut ini beberapa model mobil listrik yang pernah dipamerkan di Indonesia

DFSK Glory E3

PT Sokonindo Automobile (DFSK Motors) memperkenalkan mobil listrik Glory E3. Mobil listrik ini diklaim sangat hemat. Ricky Humisar Siahaan, Deputy Product Division Head PT Sokonindo Automobile, menjelaskan, Glory E3 memiliki kapasitas baterai sebesar 52,56 kWh. Dengan kapasitas sebesar itu, Glory E3 mampu menempuh jarak hingga 405 km.

Jarak dari Jakarta ke Semarang itu sekitar 400 km. Artinya, dengan baterai yang terisi penuh, Glory E3 mampu mencapai Semarang.



Gambar 12.1 Mobil Listrik DFSK Glory E3

Tentunya, dengan kecepatan yang konstan, jika membeli token atau listrik Prabayar PLN, Rp 100.000 akan mendapat sekitar 66 kWh. Berarti, cukup untuk mengisi penuh baterai dari Glory E3. Bahkan, masih ada sisa untuk keperluan listrik rumah lainnya. Jauh lebih efisien dibanding mesin yang mengkonsumsi bahan bakar.

Nissan Leaf

Nissan berkomitmen untuk menghadirkan kendaraan dengan teknologi ramah lingkungan di Indonesia. Pabrik Jepang ini bahkan tak menutup kemungkinan untuk menghadirkan mobil elektrifikasi dengan harga bersahabat.



Gambar 12.2 Mobil Listrik Nissan Leaf

Presiden Direktur PT Nissan Motor Indonesia Isao Sekiguchi, telah memastikan bakal meluncurkan dua model kendaraan elektrifikasi pada 2020 mendatang. Jadi Nissan sudah bertransformasi ke teknologi mobil listrik, salah satu produk yang benar-benar full

elektrik seperti Nissan Leaf. Selain itu juga merencanakan produk lain ke Indonesia, tapi kami juga kenalkan teknologi lewat *E-Power*, yang merupakan bentuk baru dari motor listrik.

Tesla Model 3

Perusahaan mobil listrik asal Amerika Serikat Tesla juga tidak ingin ketinggalan memasarkan produknya di Indonesia. Ada beberapa model yang dipasarkan di Indonesia. Salah satunya adalah model Model 3. Tesla Model 3 ini merupakan mobil listrik termurah yang dimiliki Tesla. Model 3 yang hadir di Indonesia hadir dalam tiga varian, yaitu *Standard Range Plus*, *Long Range*, dan *Performance*. Masing-masing tersedia dalam lima pilihan warna, yakni *Pearl White Multi Coat*, *Solid Black*, *Midnight Silver Metallic*, *Deep Blue Metallic*, & *Red Multi Coat*. Ini merupakan era baru, era kendaraan listrik bahwa dengan harga mobil listrik yang semakin terjangkau dan turut sertanya Pemerintah mendukung kendaraan berbasis listrik dengan berbagai insentif yang ada, Prestige Motorcars sebagai importir umum selalu menjaga komitmen untuk memberikan pengalaman dan layanan terbaik kepada penggemar mobil listrik, mobil masa kini Indonesia.



Gambar 12.3 Mobil Listrik Tesla Model 3

Urusan harga, tergantung konsumen ingin dibuatkan spesifikasinya seperti apa, karena mobil ini sama seperti Ferrari atau Lamborghini yang bisa dibeli sesuai keinginan pembeli. Sebagai contoh, ukuran pelek, warna bisa dipesan sesuai keinginan konsumen. Hal itu yang menjadikan harganya tidak mengikat. Sangat bervariasi, yang jelas harganya di atas Rp 1 miliar dan Model 3 ini merupakan mobil listrik termurah Tesla. Dan juga memberikan layanan 2 tahun garansi, jaminan suku cadang, service, dan jaminan baterai selama 8 tahun untuk setiap pembelian unit Tesla guna menjamin rasa aman kepada konsumen.

BMW i3s

Tidak ketinggalan, produsen otomotif asal Jerman BMW juga sudah mulai memperkenalkan mobil listriknya. Prototipe mobil listrik BMW ini juga dihadirkan pada ajang GIIAS pada 18-28 Juli 2019 di ICE, BSD, Tangerang. Berbeda dengan 2017 yang memperlihatkan model 13 ReX, BMW menawarkan i3s untuk pasar Indonesia. BMW i3s hadir dengan ukuran dimensi panjang 4.006 mm, tinggi 1.570 mm dan lebar 2.039 mm. Mobil ini sudah menggunakan rangka karbon fiber.

Mobil listrik ini menggunakan desain yang dinamis dengan bagian bumper depan menampilkan surround berwarna hitam. Gril khas BMW membuat mobil listrik ini tampil lebih besar dan menonjol.



Gambar 12.4 Mobil Listrik BMW i3s

BMW i3s menggunakan suspensi sport sebagai standar yang bisa diturunkan 10 mm untuk jarak terendah. Pelek 20 inci dengan desain double spoke lebih lebar 20 mm dari model terdahulu. BMW i3s hadir dengan motor listrik bertenaga 184 tk dengan torsi 270 Nm. Mobil baru ini dapat melesat dari diam hingga 100 kilometer per jam dalam waktu 6,9 detik. Untuk urusan dapur pacu, i3s dilengkapi dengan motor listrik bertenaga 184 tk dengan torsi 270 Nm. Motor ini meningkat 40 persen dari i3 dan membuat i3s memerlukan waktu 6,9 detik untuk melesat 100 kph dengan jarak tempuh 260 kilometer.

Sebagai perkenalan di GIIAS 2019, i3s dibanderol Rp 1,299 miliar off the road Jakarta. Produk ini dilengkapi dengan BMW Service Inclusive yang meliputi gratis pemeliharaan rutin 5 tahun atau 60.000 kilometer dan garansi 36 bulan tanpa batasan jarak tempuh.

Akan menghadirkan teknologi masa depan khususnya di segmen premium yang dilengkapi dengan ragam penawaran terbaik bagi pelanggan,

12.3 Spesifikasi Teknis dan Dimensi Mobil Listrik di Indonesia

Mobil bernama Blitz tersebut, kini sedang berada di kantor PLN Jakarta Pusat untuk mengisi bahan bakar dalam rangkaian tour Jelajah Nusantara.



Gambar 12.5 Mobil Listrik Blitz Karya Anak bangsa

Berikut adalah spesifikasi mobil listrik Blitz:

- Mobil listrik ini menggunakan mesin listrik BLDC Axial Motor yang mampu menghasilkan tenaga sebesar 55 kW dengan torsi maksimum sebesar 75 Nm.
- Mesin berdimensi 30 x 12 (diameter x panjang) ini, mampu menerima input maksimal sebesar 400 volt.
- Memiliki bobot kurang lebih 25 kg, mesin ini telah dilengkapi dengan pendingin water/glycol.
- Mesin ini didukung oleh transmisi CVT.
- Beralih ke baterai, mobil ini dibekali dengan baterai 18650 Li-ion berkapasitas penyimpanan 350V, dengan daya output 90 kWh.
- Untuk baterai, menggunakan merk LG MJ1

Untuk bodi, Blitz dibekali bodi berbahan carbon fibre, dengan dimensi memiliki panjang 342,6 cm, lebar 192,4 cm, dan tinggi 172,4 cm

Agar Kita mengenal lebih jauh tentang mobil listrik, buka video berikut ini. Pengalaman nyata menggunakan mobil listrik.

<https://youtu.be/Oah0dw3A0-s>

DAFTAR PUSTAKA

- Andrea, C.-A., Simona, O., dan Giorgio, R. A control-oriented lithium-ion battery pack model for plug-in hybrid electric vehicle cycle-life studies and system design with consideration of health management. In *Journal of Power Sources*, 279, 2015: 791-808.
- Anthonymsamy, B., Prasad, A. K., dan Shinde, B. Tuning of Brake Force Distribution for Pickup Truck Vehicle LSPV Brake System During Cornering Maneuver. No. 2017-01-2491. *SAE Technical Paper*, 2017.
- Azadeh, A., dkk. A multi-objective optimization problem for multi-state series-parallel systems: A two-stage flow-shop manufacturing system, *Reliability Engineering & System Safety* 136, 2015: 62-74.
- Bilgin, B., Emadi, Y., dan Krishnamurthy, M., Comprehensive evaluation of the dynamic performance of a 6/10 SRM for traction application in PHEVs, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 60(7), 2013: 2564-2575.
- Bolvashenkov, I., Kammermann, J., and Herzog, H. G. Methodology for selecting electric traction motors and its application to vehicle propulsion systems, *Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, 2016 *International Symposium on*, pp. 1214-1219, IEEE 2016.
- Borhan, H., dkk. MPC-based energy management of a power-split hybrid electric vehicle. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 20.3, 2012: 593-603.
- Bradley, W. J., Ebrahimi, M. K., and Ehsani, M. A general approach for current-based condition monitoring of induction motors. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 136(4), 2014: 041024.
- Cacciato, M., dkk. Energy management in parallel hybrid electric vehicles exploiting an integrated multi-drives topology. *Electrical and Electronic Technologies for Automotive*, 2017 *International Conference of IEEE*, 2017.
- Cairano, Di S., dkk. Power smoothing energy management and its application to a series hybrid powertrain. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 21.6, 2013: 2091-2103.

- Cao, J., dan Emadi, A. A new battery/ultracapacitor hybrid energy storage system for electric, hybrid, and plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27.1, 2012: 122-132.
- Capasso, C., dkk. *A multi-domain modelling and verification procedure within MBSE approach to design propulsion systems for road electric vehicles*. *Mechanics & Industry* 18(1), 2017: 107.
- Caprio, M. T., Murphy, B. T., dan Herbst, J. D. Spin Commissioning and Drop Tests of a 130 kW-hr Composite Flywheel. *CEM Publications*, 2015.
- Carroll, J., dkk. *Active battery thermal management within electric and plug-in hybrid electric vehicles*. In SAE Technical Paper, 2016.
- Carter, R., Cruden, A., and Hall, P. J. Optimizing for efficiency or battery life in a battery/supercapacitor electric vehicle. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 61(4), 2012: 1526-1533.
- Castro, R. de., dkk. Minimum-time manoeuvring in electric vehicles with four wheel-individual-motors." *Vehicle System Dynamics* 52(6), 2014: 824-846.
- Chan C. C. *Overview of electric, hybrid, and fuel cell vehicles*, In Encyclopedia of Automotive Engineering, 2015.
- Chan C. C., dan Cheng, M. *Vehicle traction motors*, In *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, 2015, pp. 1-34.
- Chen, Y., dkk. Conceptual design and evaluation of a hybrid transmission with power-split, series, and two parallel configurations, *SAE International Journal of Alternative Powertrains* 6(1), 2017: 122-135.
- Chen, Z., dkk, *Optimal energy management strategy of a plug-in hybrid electric vehicle based on a particle swarm optimization algorithm*. *Energies*, 8(5), 2015: 3661.
- Corno, M., dkk. Longitudinal and Lateral Dynamics Evaluation of an Anti-Lock Braking System for Trail Snowmobiles. No. 2017-01-2512. *SAE Technical Paper*, 2017.
- Cui, S., Han, S., dan Chan C. C. "Overview of multi-machine drive systems for electric and hybrid electric vehicles," In Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 2014 *IEEE Conference and Expo*. IEEE, pp. 1-6, 2014.

- Dang, S., Odonde, A. dan Mirza, T. "Sustainable energy management: An analysis report of the impacts of electric vehicles," *In Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2014 14th International Conference on.* IEEE, pp. 318-322, 2014. Electric Vehicles 111
- de Oliveira, J. G. Power control systems in a flywheel based all-electric driveline, *Doctoral dissertation, PhD thesis, Uppsala University*, 2011.
- Denis, N., Maxime, R. D., dan Alain, D. Fuzzy-based blended control for the energy management of a parallel plug-in hybrid electric vehicle. *IET Intelligent Transport Systems*, 9(1), 2014:30-37.
- Dinh, T. Q., Marco, J., Greenwood, D., Harper, H., dan Corrochano, D. Powertrain modelling for engine stop-start dynamics and control of micro/mild hybrid construction machines. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: *Journal of Multi-Body Dynamics*, 2017.
<https://doi.org/10.1177/1464419317709894>.
- Dokuyucu, H. I., dan Cakmakci, M. Concurrent design of energy management and vehicle traction supervisory control algorithms for parallel hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(2), 2016: 555-565.
- Dominik, K., Vadim K., dan Jeong, J. Fuel saving potential of optimal route-based control for plug-in hybrid electric vehicle. *In IFAC-PapersOnLine*, 49(11), 2016: 128-133.
- Emadi, A. (Ed.) Advanced Electric Drive Vehicles. *CRC Press*, 2014.
- Estima J. O. dan Cardoso, Marques A. J., Efficiency analysis of drive train topologies applied to electric/hybrid vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(3), 2012: 1021-1031.
- Fischer, R., Küçükay, S., dan Pollak, B. *The Automotive Transmission*. Springer International Publishing, 2015.
- Flynn, M. M., McMullen, P., dan Solis, O. High-speed flywheel and motor drive operation for energy recovery in a mobile gantry crane. *In APEC 07-Twenty-Second Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, pp. 1151-1157. IEEE.
- Gandiaga I., Villarreal, I. Cycle ageing analysis of a LiFePO₄/graphite cell with dynamic model validations: towards realistic lifetime predictions. *Journal of Power Sources*, 275, 2015:573-587. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.10.153>.

- Ghayebloo A. dan Radan, A., Superiority of dual-mechanical-port-machine-based structure for series-parallel hybrid electric vehicle applications, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 65(2), 2016: 589-602.
- Ghayebloo, A., dan Radan, A. Superiority of dual-mechanical-port-machine-based structure for series-parallel hybrid electric vehicle applications, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 65(2), 2016: 589-602.
- GmbH, Robert Bosch. *Bosch Automotive Handbook*. Eighth Edition, Juli 16, 2011.
- Guzzella, L. dan Sciarretta, A. *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*. Springer, Januari 29, 2015, ISBN-13: 978-3642438479.
- Gyan, P. Lithium battery aging model based on Dakin's degradation approach. *Journal of Power Sources*, 325, 2016: 273-285. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.06.036>.
- Hedlund, M., dkk. *Flywheel energy storage for automotive applications*. *Energies*, 8(10), 2015: 10636-10663.
- Hernandez, M., dkk. "Environmental impact of traction electric motors for electric vehicles applications." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 22(1), 2017: 54-65.
- Hu, X., dkk. Integrated optimization of battery sizing, charging, and power management in plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 24(3), 2016: 1036-1043.
- Hu, X., N. Murgovski, N., dkk. Energy efficiency analysis of a series plug-in hybrid electric bus with different energy management strategies and battery sizes. *Appl Energy*, 111, 2013, 1001-1009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.06.056>.
- Huang, K., Xiang, C., dan Langari, R. Model reference adaptive control of a series-parallel hybrid electric vehicle during mode shift, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering* 231(7), 2017: 541-553.
- Imamura, T. dkk. Concept and approach of multi stage hybrid transmission. *SAE Technical Paper 2017-01-1098*, 2017, doi: 10.4271/2017-01-1098.
- Itani, K., dkk. Regenerative braking modeling, control, and simulation of a hybrid energy storage system for an electric vehicle in extreme conditions. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 2(4), 2016: 465-479.

- Ivanov, V. Savitski, D., Augsburg, K., dan Barber, P. "Electric vehicles with individually controlled on-board motors: Revisiting the ABS design," In Mechatronics (ICM), 2015 *IEEE International Conference on*. IEEE, pp. 323-328, 2015.
- Ivanov, V. Savitski, D., dan Shyrokau, B. "A survey of traction control and antilock braking systems of full electric vehicles with individually controlled electric motors." *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 64(9), 2015: 3878-3896.
- Jiankun, P., Hongwen, H., dan Rui, X. Rule based energy management strategy for a series-parallel plug-in hybrid electric bus optimized by dynamic programming. In *Applied Energy*, 185, 2017: 1633-1643.
- Jiankun, P., Hongwen, H., dan Rui, X. Study on energy management strategies for series-parallel plug-in hybrid electric buses. In *Energy Procedia*, 75, 2015: 1926-1931.
- Kapadia, J., dkk. Powersplit or parallel - Selecting the right hybrid architecture, *SAE Int. J. Alt. Power.*, 6(1), 2017: 68-76.
- Kim, S. J., Kyung-Soo, K., dan Dongsuk, K. Feasibility assessment and design optimization of a clutchless multimode parallel hybrid electric powertrain. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 21(2), 2016: 774-786.
- Kimura, K., dkk. Development of new IGBT to reduce electrical power losses and size of power control unit for hybrid vehicles, *SAE International Journal of Alternative Powertrains*, 6, 2017-01-1244, 2017: 303-308.
- Ko, J. Development of brake system and regenerative braking cooperative control algorithm for automatic-transmission-based hybrid electric vehicles, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(2), Feb. 2015: 431-440.
- Ko, J. W., dkk. Co-operative control for regenerative braking and friction braking to increase energy recovery without wheel lock, *International Journal of Automotive Technology*, 15(2), 2014: 253-262.
- Kriegler, W., dan Winter, S. A3PS: Austrian association for advanced propulsion systems, In *Automated Driving*, pp. 617-620, *Springer International Publishing*, 2017. Fundamentals of Vehicle Propulsion and Braking 49
- Li, L., dkk. Model predictive control-based efficient energy recovery control strategy for regenerative braking system of hybrid electric bus, *Energy Conversion and Management*, 111, 2016: 299-314, ISSN 0196-8904.

- Lievre, A., dkk. Practical online estimation of lithium-ion battery apparent series resistance for mild hybrid vehicles, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(6), Juni 2016: 4505-4511, doi: 10.1109/TVT.2015.2446333.
- Lu, J., dkk. A System for Autonomous Braking of a Vehicle Following Collision. No. 2017- 01-1581. *SAE Technical Paper*, 2017.
- Lundin, J. *Flywheel in an all-electric propulsion system, Doctoral dissertation*, PhD thesis, Uppsala University, 2011.
- Lv, C., dkk. Hardware-in-the-loop simulation of pressure-difference-limiting modulation of the hydraulic brake for regenerative braking control of electric vehicles, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: *Journal of Automobile Engineering*, 228(6), 2014: 649-662.
- Lv, C., dkk. Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electrified vehicles, *Energy Conversion and Management*, 92, 2015: 469-482, ISSN 0196-8904.
- Manoharan, D., Chandramohan, D. S., Chakkath, S., dan Maurya, S. Design, Development & Testing of Test Rig Setup for Unmanned Aerial Vehicle Propulsion Systems. No. 2017-01-2064. *SAE Technical Paper*, 2017.
- Martin, N. P. D., Bishop, J. D. K., dan Boies, A. M. *How well do we know the future of CO2 emissions? Projecting fleet emissions from light duty vehicle technology drivers*. Environmental Science & Technology 51(5), 2017: 3093-3101.
- Martinotto, L., Merlo, F., dan Donzelli, D., *Vehicle braking systems and methods*. U.S. Patent Application 15/184,806, filed Juni 16, 2016.
- Mi, C., dan Masrur, Abdul M. Hybrid Electric Vehicles: Principles and Applications with Practical Perspectives, *John Wiley & Sons*, New York, 2017.
- Mirzaeinejad, H., Mirzaei, M., dan Kazemi, R. Enhancement of vehicle braking performance on split-? roads using optimal integrated control of steering and braking systems. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: *Journal of Multi-Body Dynamics* 230(4), 2016: 401-415.
- Miyama, Y., dkk. "PWM carrier harmonic iron loss reduction technique of permanent-magnet motors for electric vehicles." *IEEE Transactions on Industry Applications* 52(4), 2016: 2865-2871.

- Montazeri-Gh, M., dan Mehdi, M.-K. An optimal energy management development for various configuration of plug-in and hybrid electric vehicle. *In Journal of Central South University*, 22(5), 2015: 1737-1747.
- Mousavi, S. M., Alikar, N., dan Niaki, S. T. A. *An improved fruit fly optimization algorithm to solve the homogeneous fuzzy series-parallel redundancy allocation problem under discount strategies*, *Soft Computing* 20(6), 2016: 2281-2307.
- Nasiri, H., Radan, A., Ghayebloo, A., dkk., Dynamic modeling and simulation of transmotor based series-parallel HEV applied to Toyota Prius 2004, *In 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, IEEE, pp. 1-4, May 2011.
- Naunheimer, H., Bertsche, B., Ryborz, J., dan Novak, W. *Automotive Transmissions Fundamentals, Selection, Design and Application*. 2011.
- Ngo, H-T., dkk. Design and analysis of a novel seriesparallel hybrid transmission, In The Proceedings of the JSME International Conference on Motion and Power Transmissions, <http://doi.org/10.1299/jsmeimpt.2017.10-04>.
- Nguyen, X.-T., Tran, V.-D., dan Hoang, N. D. An investigation on the dynamic response of cable stayed bridge with consideration of three-axle vehicle braking effects. *Journal of Computational Engineering 2017*, 2017: 4584657:1-4584657:13.
- Novellis, L. De., Sorniotti, A., dan Gruber, P. "Driving modes for designing the cornering response of fully electric vehicles with multiple motors." *Mechanical Systems and Signal Processing* 64, 2015: 1-15.
- Patil, R. M., Filipi, Z., dan Fathy, H. K. Comparison of supervisory control strategies for series plug-in hybrid electric vehicle powertrains through dynamic programming. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 22.2, 2014: 502-509.
- Pellegrino, G., dkk., Performance comparison between surface-mounted and interior PM motor drives for electric vehicle application, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 59(2), 2012: 803-811.
- Peng, J., He, H., dan Xiong, R. *Study on energy management strategies for series-parallel plug-in hybrid electric buses*, *Energy Procedia* 75, 2015: 1926-1931.
- Peng, J., He, H., dan Xiong. *Rule based energy management strategy for a series-parallel plug-in hybrid electric bus optimized by dynamic programming*, *Applied Energy* 185, 2017:1633-1643.

- Petrovich, S., Ebrahimi, K., dan Pezouvanis, A. MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output) Control for Optimising the Future Gasoline Powertrain-A Survey (No. 2017-01-0600). 2017, *SAE Technical Paper*.
- Pourabdollah, M. dkk. Optimal sizing of a parallel PHEV powertrain. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 62(6), 2013: 2469-2480.
- Rahman, K. dkk. Design and performance of electrical propulsion system of extended range electric vehicle (EREV) Chevrolet Volt. *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2012.
- Riba, J.R., López-Torres, C., Romeral, L., dan Garcia, A. "Rare-earth-free propulsion motors for electric vehicles: A technology review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57, 2016:367-379.
- Roche, M., Shabbir, W., dan Evangelou, S. A. Voltage control for enhanced power electronic efficiency in series hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66.5, 2017: 3645-3658.
- Rosenberger, M., Plöchl, M., dkk. The dynamics of vehicles on roads and tracks. *Proceedings of the 24th Symposium of the International Association for Vehicle System Dynamics (IAVSD 2015)*, Graz, Austria, Agustus 17-21, 2015, Crc Press, 2016.
- Sabri, M. F. M., Danapalasingam, K. A., dan Rahmat, M. F. *A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies*. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 2016: 1433-1442.
- Saharan, V., dan Nakai, K., High power cell for mild and strong hybrid applications including Chevrolet Malibu, *SAE Technical Paper 2017-01-1200*, 2017, doi: 10.4271/2017-01-1200.
- Saikyo, M., dkk. Optimization of energy management system for parallel hybrid electric vehicles using torque control algorithm. *Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), 2015 54th Annual Conference of the IEEE*, 2015.
- Sant, A. V., Khadkikar, V., dan Zeineldin, H. H. "Four-axis vector-controlled dual-rotor PMSM for plug-in electric vehicles." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 62(5), 2015: 3202-3212.
- Santiago, J. De., dkk. Electrical motor drivelines in commercial all-electric vehicles: A review. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(2), 2012: 475-484.

- Sarlioglu, B., dkk., Driving toward accessibility: A review of technological improvements for electric machines, power electronics, and batteries for electric and hybrid vehicles. *IEEE Industry Applications Magazine*, 23(1), 2017: 14-25.
- Schuster, S. F., Bach, T., dkk. Nonlinear aging characteristics of lithium-ion cells under different operational conditions. *Journal of Energy Storage*, 1, 2015: 44-53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.est.2015.05.003>.
- Sezer, V., Gokasan, M., dan Bogosyan, S. A novel ECMS and combined cost map approach for high-efficiency series hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60.8, 2011: 3557-3570.
- Shabbir, W., dan Evangelou, S. A. Exclusive operation strategy for the supervisory control of series hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 24.6, 2016:2190-2198.
- Shili, S., Sari, A. dan Venet, Online lithium-ion batteries health monitoring using balancing circuits, In *Industrial Technology (ICIT) 2017 IEEE International Conference on*, pp. 484-488, 2017.
- Shuo, Z., dan Rui, X. *Adaptive energy management of a plug-in hybrid electric vehicle based on driving pattern recognition and dynamic programming*. In *Applied Energy*, 155, 2015: 68-78.
- Souflas, I., dkk. Dynamic Modeling of a Transient Engine Test Cell for Cold Engine Testing Applications. 2014, *ASME Paper No. IMECE2014-36286*.
- Souflas, I., dkk., Nonlinear recursive estimation with estimability analysis for physical and semiphysical engine model parameters. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 138(2), 2016: 024502.
- Sun, X., dkk., *Research on electrical brake of a seriesparallel hybrid electric vehicle*, 2016 World Congress on Sustainable Technologies (WCST) 2016: 70-75
- Wang, dkk. Application study on the dynamic programming algorithm for energy management of plug-in hybrid electric vehicles. In *Energies*, 8(4), 2015: 3225.
- Wang, E., Guo, D., dan Yang, F. *System design and energetic characterization of a four-wheeldriven series-parallel hybrid electric powertrain for heavy-duty applications*, *Energy Conversion and Management* 106, 2015: 1264-1275.

- Wang, H., Huang, Y., dan Khajepour, A., *Model predictive control-based energy management strategy for a series hybrid electric tracked vehicle*, *Applied Energy* 182, 2016: 105-114.
- Yang, Y., dkk. Design and comparison of interior permanent magnet motor topologies for traction applications, *IEEE Transactions on Transportation Electrification* 3(1), 2017: 86-97.
- Yang, Y., dkk., Comparative study of interior permanent magnet, induction, and switched reluctance motor drives for EV and HEV applications, *IEEE Transactions on Transportation Electrification* 1(3), 2015: 245-254.
- Yeksan, A.Y., Ershad, M., dan Ehsani, M., Dual-shaft electrical machine for vehicle applications, *IEEE Transactions on Energy Conversion* 2017 (under review).
- Yildirim, M., Polat, M., dan Kürüm, H. "A survey on comparison of electric motor types and drives used for electric vehicles," In Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC), *2014 16th International. IEEE*, pp. 218-223, 2014.
- Zaretalab, A., Hajipour, V., M. Sharifi, and M. R. Shahriari, *A knowledge-based archive multiobjective simulated annealing algorithm to optimize series-parallel system with choice of redundancy strategies*, *Computers & Industrial Engineering* 80, 2015: 33-44.
- Zhang H. dan Wang, J. Vehicle lateral dynamics control through AFS/DYC and robust gain-scheduling approach. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 65(1), 2016: 489-494.
- Zhang, P., Yan, F., dan Du, C. *A comprehensive analysis of energy management strategies for hybrid electric vehicles based on bibliometrics*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 48, 2015: 88-104.
- Zhang, S., Xiong, R., dan Sun, F. Model predictive control for power management in a plug-in hybrid electric vehicle with a hybrid energy storage system. *Appl Energy*, 185, 2015: 1654-1662. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.035>.
- Zhang, Y., dan Yin, C. Hardware-in-the-loop simulation of robust mode transition control for a series-parallel hybrid electric vehicle, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 65(3), 2016: 1059-1069.
- Zheng, C., dkk. Chunting, A novel energy management method for series plug-in hybrid electric vehicles. In *Applied Energy*, 145, 2015: 172-179.

MOBIL LISTRIK

DENGAN BATERAI LITHIUM-ION

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

BIO DATA PENULIS

Penulis memiliki berbagai disiplin ilmu yang diperoleh dari Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang dan dari Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga (UKSW) Disiplin ilmu itu antara lain teknik elektro, komputer, manajemen dan ilmu sosiologi. Penulis memiliki pengalaman kerja pada industri elektronik dan sertifikasi keahlian dalam bidang Jaringan Internet, Telekomunikasi, Artificial Intelligence, Internet Of Things (IoT), Augmented Reality (AR), Technopreneurship, Internet Marketing dan bidang pengolahan dan analisa data (komputer statistik).

Penulis adalah pendiri dari Universitas Sains dan Teknologi Komputer (Universitas STEKOM) dan juga seorang dosen yang memiliki Jabatan Fungsional Akademik Lektor Kepala (Associate Professor) yang telah menghasilkan puluhan Buku Ajar ber ISBN, HAKI dari beberapa karya cipta dan Hak Paten pada produk IPTEK.

Penulis juga terlibat dalam berbagai organisasi profesi dan industri yang terkait dengan dunia usaha dan industri, khususnya dalam pengembangan sumber daya manusia yang unggul untuk memenuhi kebutuhan dunia kerja secara nyata.



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

PENERBIT :

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

JL. Majapahit No. 605 Semarang
Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144
Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

ISBN 978-623-6141-76-2 (PDF)



9 786236 141762