



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK



# Instalasi PANEL LISTRIK SURYA

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

## **Instalasi Panel Listrik Surya**

### **Penulis :**

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

**ISBN : 9 76235 734569**

### **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 Yunianto, S.Ds., M.Kom.

### **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](mailto: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](mailto: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

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan karena buku yang berjudul *“Instalasi Panel Listrik Surya”* dapat terselesaikan. Semakin hari semakin berkurangnya sumber daya alam di Bumi memacu kita untuk mencari sumber daya alternatif yang murah dan ramah lingkungan. Salah satunya adalah penggunaan listrik mengalami peningkatan tahun demi tahun. Upaya menemukan penemuan energi baru terbaru mulai dilakukan di Indonesia. Panel Listrik Surya merupakan salah satu jalan keluarnya, karena pada dasarnya sistem kerja ini mengubah cahaya matahari menjadi tenaga listrik. Banyak kota-kota besar di Indonesia mulai memanfaatkan panel surya untuk berbagai keperluan seperti produksi listrik lampu jalanan dan saluran pengairan. Menggunakan tenaga surya sebenarnya bisa lebih murah daripada membayar listrik. Instalasi panel listrik surya bisa dilakukan sendiri. Buku ini akan membahas tentang cara instalasi panel listrik surya pribadi anda tanpa harus menyewa orang untuk proses pemasangan dan instalasi panel listrik surya ini.

Jika ini adalah proyek yang bisa dilakukan, mengapa kebanyakan orang menggunakan pemasang profesional? Sebagai permulaan, banyak orang memiliki alasan bagus untuk menyewakan hampir semua hal, mulai dari ganti oli hingga belanja bahan material. Buku ini dapat membantu Anda merencanakan pemasangan tenaga surya. Tenaga ahli tenaga surya menangani lebih dari sekadar pemasangan. Mereka merancang sistem, mereka mengajukan rabat dan kredit, mereka memesan semua suku cadang yang diperlukan, dan mereka memperoleh izin dan lulus semua inspeksi. Tetapi kenyataannya adalah, Anda dapat melakukan semua hal ini sendiri, asalkan Anda memiliki petunjuk instalasi yang membantu (buku ini, misalnya) dan Anda bersedia mengikuti aturan otoritas bangunan setempat (di situlah Anda akan mendapatkan izin tersebut).

Buku ini dimaksudkan untuk memberikan informasi pendidikan bagi pembaca tentang panel listrik surya. Pastikan untuk membaca semua penjelasan dan saran dalam buku ini dan literatur produk Anda secara menyeluruh sebelum mulai memasang panel surya Anda sendiri. Penulis dan penerbit menyarankan agar siapa pun yang bukan ahli listrik terlatih mendapatkan bantuan profesional sebelum menghubungkan ke sistem kelistrikan rumah Anda, dan mengikuti semua kode bangunan negara bagian dan lokal yang berlaku. Akhir kata semoga buku ini berguna untuk para pembaca.

Semarang, Maret 2022

Penulis

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

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b> .....	<b>i</b>
<b>Kata Pengantar</b> .....	<b>iv</b>
<b>Daftar Isi</b> .....	<b>vi</b>
<b>BAB 1 DASAR-DASAR PANEL LISTRIK SURYA</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tujuan Pembelajaran .....	1
1.2 Anatomi Sistem Tenaga Surya .....	1
1.3 Bisakah Saya Menginstal Sistem PV Saya Sendiri? .....	7
1.4 Menjadi Tenaga Surya-Dari mulai Sampai Selesai .....	8
1.5 Bekerja dengan Tenaga Surya Profesional .....	14
1.6 Pertanyaan untuk Listrik Panel Surya .....	16
1.7 Volts, Amps, Watt, dan Watt-Jam .....	19
<b>BAB 2 MENILAI SITUS ANDA</b> .....	<b>20</b>
2.1 Tujuan Pembelajaran .....	20
2.2 Mengukur Area, Kemiringan, dan Azimuth .....	20
2.3 Mengukur Sistem Anda dengan PVWatt .....	24
2.4 Parameter Info Sistem .....	24
2.5 Ukuran Sistem DC .....	25
2.6 Kerugian Sistem .....	27
2.7 Kehilangan Sistem PV .....	27
2.8 Salju, Angin, dan Bayangan .....	29
<b>BAB 3 MEMILIH PERANGKAT KERAS PV</b> .....	<b>33</b>
3.1 Tujuan Pembelajaran .....	33
3.2 Modul .....	33
3.3 Efisiensi Sel Surya .....	35
3.4 Struktur Pendukung Modul .....	39
3.5 Racking untuk atap miring .....	41
3.6 Inverter dan Pengoptimal DC .....	51
3.7 Inverter String vs Mikroinverter .....	54
3.8 Perlindungan Shutdown Cepat .....	55
3.9 Sistem Shutdown Cepat Standar .....	57
3.10 Daya Darurat untuk Sistem Grid-Tied .....	57
<b>BAB 4 MERANCANG SISTEM ANDA</b> .....	<b>58</b>
4.1 Tujuan Pembelajaran .....	58
4.2 Dasar-dasar Sirkuit PV .....	58
4.3 Proses Desain .....	62
4.4 Contoh Desain Sistem .....	64
4.5 Diagram Listrik Satu Baris .....	72
4.6 Jenis Kawat untuk Sistem PV .....	76

<b>BAB 5 BERSIAP UNTUK MENGINSTAL .....</b>	<b>79</b>
5.1 Tujuan Pembelajaran .....	79
5.2 Perizinan dan Inspeksi .....	79
5.3 Belanja Solar .....	82
5.4 Keungan Surya .....	85
5.5 Merakit Kru Anda .....	88
5.6 Keamanan Atap .....	89
5.7 Bagaimana Mendapatkan Modul ke Atap .....	92
<b>BAB 6 INSTALASI MEKANIK: ROOFTOP .....</b>	<b>94</b>
6.1 Tujuan Pembelajaran .....	94
6.2 Meletakkan Racking .....	94
6.3 Tip Dimensi Framing .....	96
6.4 Menemukan Rafter .....	97
6.5 Memasang Footer dan Rel .....	101
6.6 Menginstal Footer dan Flashing .....	102
6.7 Merakit dan Menyesuaikan Rel .....	104
6.8 Memasang Modul .....	107
6.9 Menginstal Sistem Atap Datar .....	118
<b>BAB 7 INSTALASI MEKANIK: GROUND-MOUNT .....</b>	<b>120</b>
7.1 Tujuan Pembelajaran .....	120
7.2 Mengatur Postingan Dukungan .....	120
7.3 Merakit Struktur Ground-Mount .....	125
7.4 Aturan Rapid Shutdown untuk Ground-Mount Arrays .....	128
<b>BAB 8 INSTALASI LISTRIK .....</b>	<b>129</b>
8.1 Tujuan Pembelajaran .....	129
8.2 Langkah Proyek Akhir .....	129
8.3 Menjalankan Saluran .....	130
8.4 Pemasangan Kabel Ground-Mount .....	133
8.5 Koneksi Komponen .....	135
8.6 DC-Inverter String AC .....	137
8.7 Pemeriksaan Akhir dan Menghidupkan Sistem PV Anda .....	142
<b>BAB 9 DESAIN SISTEM OFF-GRID .....</b>	<b>143</b>
9.1 Tujuan Pembelajaran .....	143
9.2 Dasar-dasar Off-Grid .....	143
9.3 Pengontrol Pengisian Daya .....	148
9.4 Baterai .....	149
9.5 Generator .....	156
9.6 Beban Listrik Total .....	159
9.7 Output Sistem Total (PVWatt) .....	159
<b>BAB 10 DI LUAR INSTALASI: TIPS MAINTENANCE SISTEM PV ANDA .....</b>	<b>163</b>
10.1 Tujuan Pembelajaran .....	163

10.2 Aturan Keamanan PV .....	163
10.3 Prosedur Shutdown dan Startup .....	164
10.4 Pemeliharaan dan Pemecahan Masalah .....	167
10.5 Pemeliharaan Baterai untuk Sistem Off-Grid .....	170
10.6 Memantau Sistem Anda .....	173
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>176</b>

## **BAB 1**

### **DASAR-DASAR PANEL LISTRIK SURYA**

#### **1.1 TUJUAN PEMBELAJARAN**

Buku ini akan memulai Perjalanan Anda menuju pencerahan listrik dengan tinjauan singkat tentang apa yang masuk ke sistem tenaga surya rumah dan melihat komponen spesifik dari tiga jenis sistem utama. Kemudian kita akan berjalan cepat melalui proses instalasi dari awal sampai akhir. Dan itu cukup untuk pelajaran dasar, karena inilah saatnya untuk mulai bekerja.

Tugas pertama Anda adalah memastikan bahwa instalasi *do-it-yourself* (DIY) tidak hanya diinginkan tetapi juga legal di wilayah Anda. (Tidak diperbolehkan di mana-mana.) Jika Anda memberi diri Anda lampu hijau, bagus. Jika tidak, Anda dapat menggunakan buku ini untuk mempelajari dasar-dasar penggunaan tenaga surya dan mendapatkan kepercayaan diri untuk memilih pemasang tenaga surya profesional lokal yang baik dan mendapatkan apa yang Anda inginkan. Tugas berikutnya adalah untuk semua orang: menentukan berapa banyak listrik yang Anda gunakan dan memikirkan ke mana kemungkinan besar tata surya Anda akan pergi.

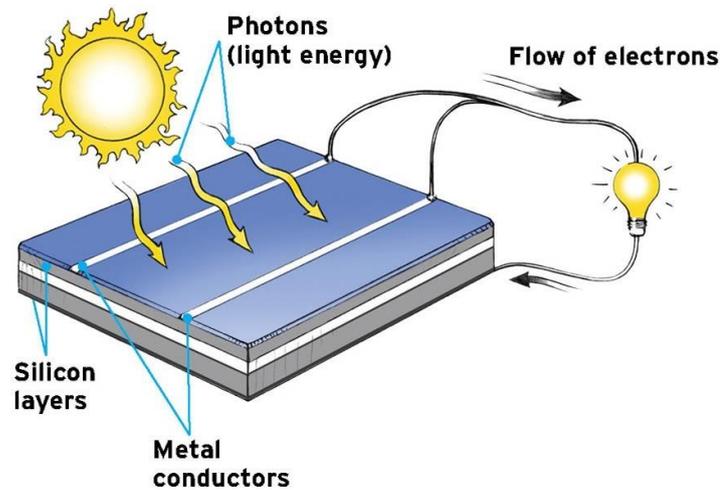
#### **1.2 ANATOMI SISTEM TENAGA SURYA**

Ilmu mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik dikenal sebagai fotovoltaik (PV), mengacu pada foton cahaya dan volt listrik. Inilah pelajaran 10 detik Anda tentang cara kerja PV: Panel surya, yang disebut dengan modul PV (lihat Anda Mengatakan “Panel”; Kami Mengatakan “Modul,”), mengandung sel surya, yang biasanya terbuat dari lapisan silikon, semikonduktor bahan terbuat dari pasir (juga bernama Silicon Valley). Ketika foton cahaya memasuki sel surya, mereka diserap dan membangkitkan elektron di lapisan silikon, menyebabkan mereka bergerak dan, pada akhirnya, mengalir terus menerus melalui rangkaian kabel yang masuk ke sistem PV. Memanfaatkan aliran elektron inilah yang memberi Anda daya listrik.

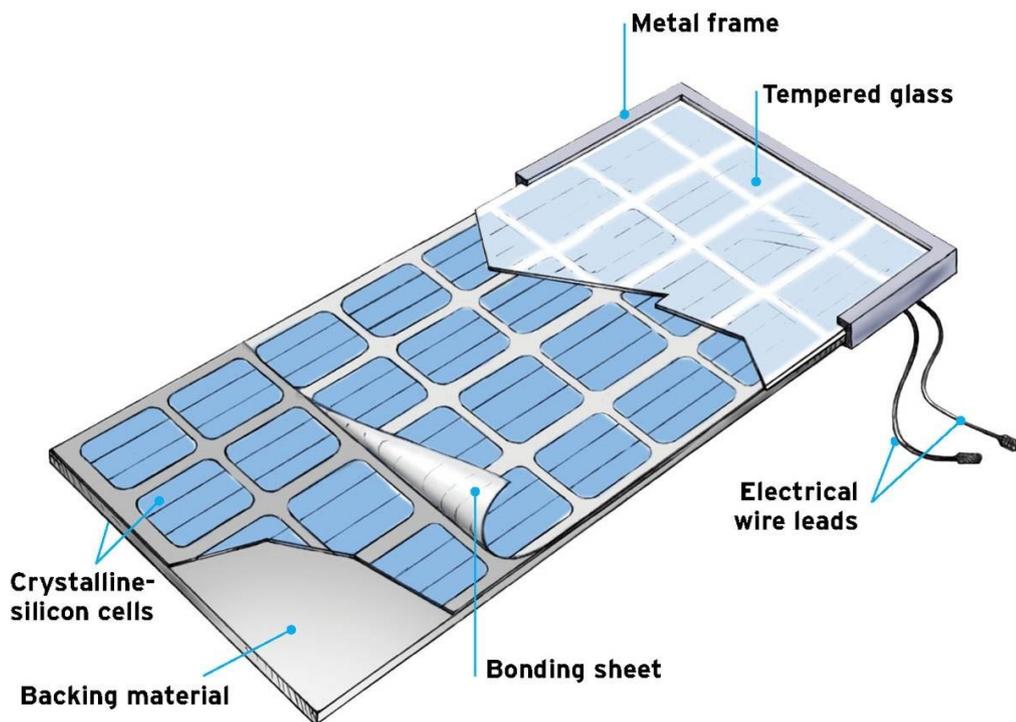
Listrik yang dihasilkan oleh modul PV (dan digunakan oleh semua baterai) adalah arus searah (DC), di mana semua elektron bergerak dalam satu arah saja. Sistem kelistrikan rumah Anda dan sebagian besar peralatan menggunakan daya arus bolak-balik (AC), di mana elektron bergerak maju mundur, arah bolak-balik sekitar 60 kali per detik. Oleh karena itu, sistem PV menyertakan satu atau lebih inverter yang mengubah listrik DC yang dihasilkan surya menjadi daya AC yang dapat digunakan untuk rumah Anda (dan, dengan sistem yang terikat jaringan, untuk dijual kembali ke jaringan utilitas).

Semua sistem PV rumah dimulai dengan kumpulan modul surya-listrik, yang disebut susunan PV. Array dapat dipasang di atap atau di tanah. Modul dalam array biasanya dihubungkan bersama dalam kelompok, masing-masing disebut seri-string. Senar-seri disambung di dekat larik pada kotak penggabung atau perangkat lain, dan pengkabelan dari kotak membawa daya ke komponen sistem lainnya di permukaan tanah. Komponen pertama yang terhubung dengan jalur suplai ini bergantung pada jenis sistem. Halaman berikut

memberi Anda gambaran tentang tiga sistem utama. Kami akan membahas jenis sistem dan perangkat keras secara lebih rinci di bab 3 dan 4.



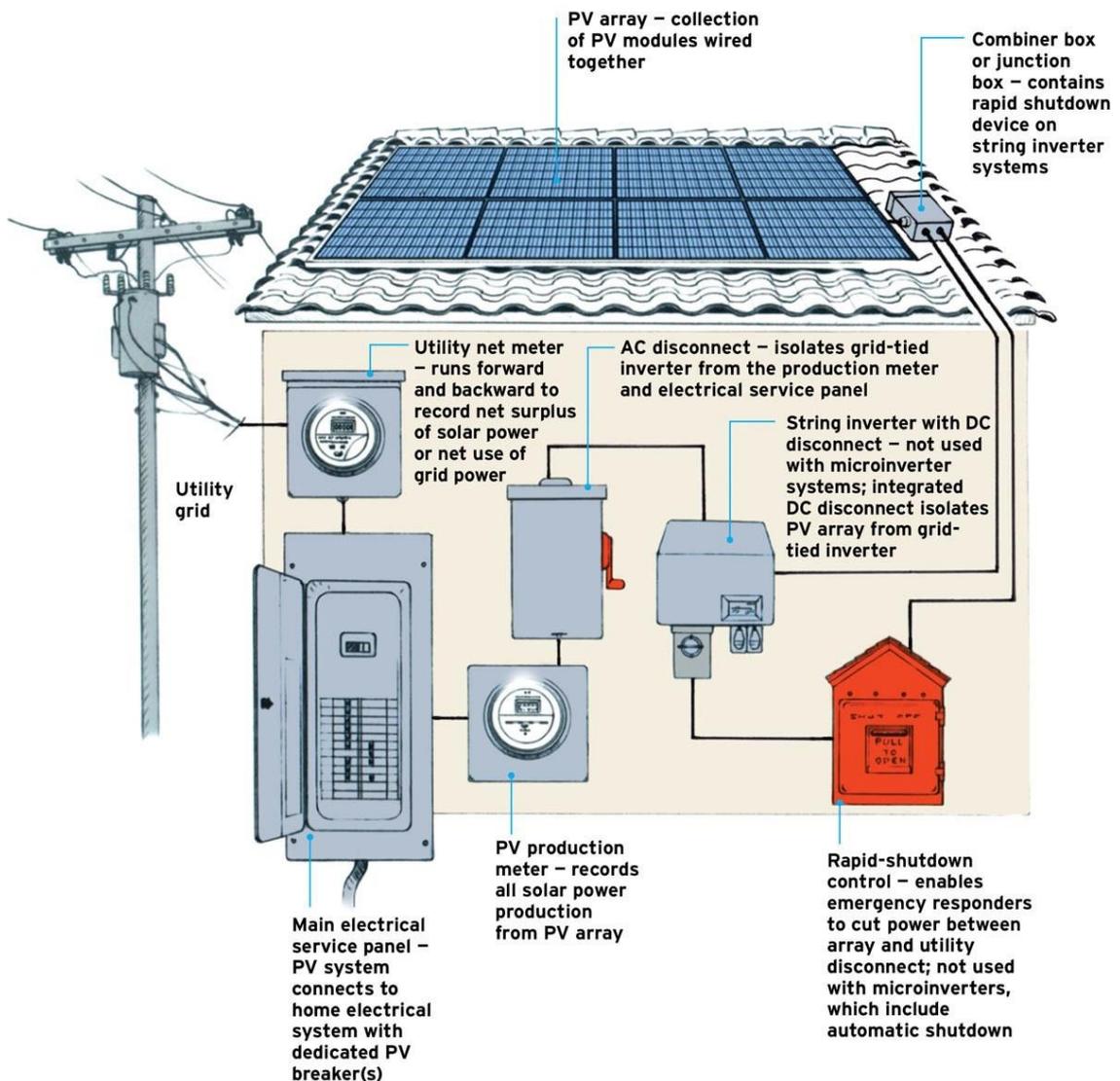
**Gambar 1.1** Detail Sel Surya



**Gambar 1.2** Modul PV

Modul PV standar tidak lebih dari bingkai logam yang mengelilingi *board* yang terbuat dari bahan pendukung yang kaku, lapisan tipis sel surya silikon, lembaran ikatan transparan, dan bagian atas kaca tempered. Sel adalah tempat keajaiban terjadi. Setiap sel biasanya berukuran sekitar 4 hingga 6 inci persegi, dan modul ukuran penuh biasanya berisi 60 atau 72 sel yang saling berhubungan yang ditata dalam pola kotak. Sel yang paling umum terbuat dari silikon kristal (c-Si), bahan semikonduktor yang mampu menghasilkan sekitar 0,5 volt listrik. (Jumlah arus, atau arus listrik, yang dihasilkan oleh sel surya tergantung pada ukurannya.)

Ketika Anda menyambungkan sel-sel secara seri, tegangan bertambah sehingga modul 60 sel menghasilkan sekitar 30 volt, dan 72 sel modul sekitar 36 volt.



**Gambar 1.4** Sistem PV *Grid-tied*

Gambar 1.4 menyatakan bahwa Sistem PV terikat jaringan selalu terhubung ke jaringan listrik dan tidak memiliki sarana untuk menyimpan energi di lokasi. Sistem inverter string ditampilkan di sini. Sistem mikroinverter akan memiliki beberapa inverter mikro yang dipasang di bawah larik (dan tidak ada inverter string) dan tidak akan memiliki sistem kontrol terpisah untuk shutdown cepat.

Sel surya dirakit menjadi modul PV karena dua alasan yang sangat bagus:

1. Anda membutuhkan banyak sel yang dihubungkan bersama untuk menghasilkan jumlah listrik yang berguna yang dihasilkan pada tegangan yang relatif tinggi.
2. Sel silikon kristal rapuh. Struktur modul dan kaca atas melindungi pembuat sihir kecil dari hal-hal seperti hujan, salju, angin, hujan es, burung doo-doo, dan efek jangka panjang dari perubahan suhu dan kelembaban. Ya, modul dapat rusak jika Anda

menjatuhkannya dengan cara yang salah, tetapi selain itu modul ini dirancang untuk tahan terhadap paparan luar ruangan selama beberapa dekade.

### **Sistem Grid-Tied**

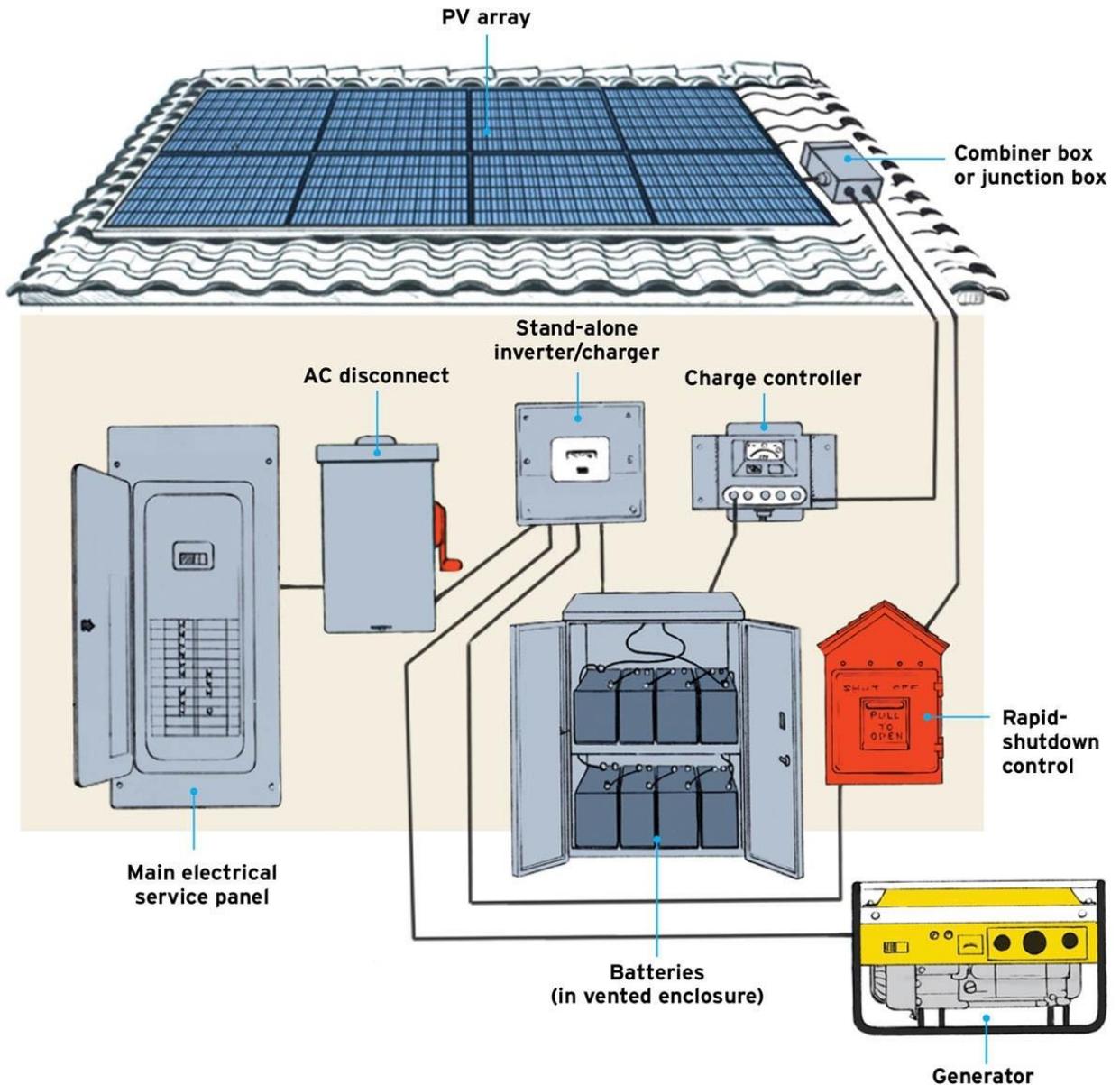
Sistem *grid-tied* sejauh ini merupakan jenis sistem PV perumahan yang paling umum, serta yang paling sederhana dan paling murah. Ini terhubung ke jaringan utilitas listrik dan menggunakan jaringan untuk "penyimpanan" dan cadangan. Ketika susunan menghasilkan lebih banyak daya daripada yang digunakan rumah, kelebihan daya diumpungkan kembali ke jaringan — memutar meteran utilitas ke belakang — dan Anda mendapatkan kredit untuk itu. Ketika rumah membutuhkan lebih dari yang disediakan oleh panel surya, rumah secara otomatis menarik listrik dari jaringan.

Keuntungan dari sistem *grid-tied* termasuk kesederhanaan, biaya rendah, dan perawatan yang rendah, menjadikannya pilihan yang jelas bagi pemilik rumah yang sudah menggunakan daya utilitas, yang merupakan sebagian besar pemilik rumah. Tetapi jaringan listrik juga merupakan kelemahan utama: ketika mati, begitu juga sistem PV. Fungsi mati otomatis ini, yang disebut *self-islanding*, diperlukan oleh utilitas untuk penyambungan jaringan untuk keselamatan personel utilitas yang bekerja di saluran listrik.

Sistem *grid-tied* dapat menggunakan satu atau lebih inverter string, yang mengubah daya dari DC ke AC untuk sekelompok modul sekaligus, atau microinverter, yang mengubah daya dari DC ke AC pada setiap modul individu atau sepasang modul. Opsi ketiga adalah menambahkan pengoptimal DC ke sistem inverter string. Pengoptimal DC (lihat di sini) menambahkan beberapa pengoptimalan kinerja dan fitur pemantauan yang ditawarkan oleh inverter mikro, tetapi mereka tidak mengubah DC ke AC pada modul.

### **Sistem Off-Grid**

Sistem swasembada, sistem *off-grid* tidak memiliki koneksi ke jaringan utilitas dan oleh karena itu merupakan pilihan terbaik untuk rumah yang jauh dari jalur utilitas. Mereka termasuk bank baterai untuk menyimpan tenaga surya di siang hari dan memberi makan rumah dengan listrik di malam hari. Sistem ini juga dapat memperoleh daya cadangan tambahan dari generator bertenaga bahan bakar (biasanya gas, diesel, atau propana), yang harus dipasang oleh ahli listrik. Semua listrik tenaga surya melewati baterai; itu tidak memberi daya rumah langsung dari array. Baterai diisi oleh daya DC dari array dan dipantau dan dikendalikan oleh perangkat yang disebut pengontrol muatan. Daya baterai diubah menjadi AC (melalui inverter DC-AC) sebelum memasok rumah.



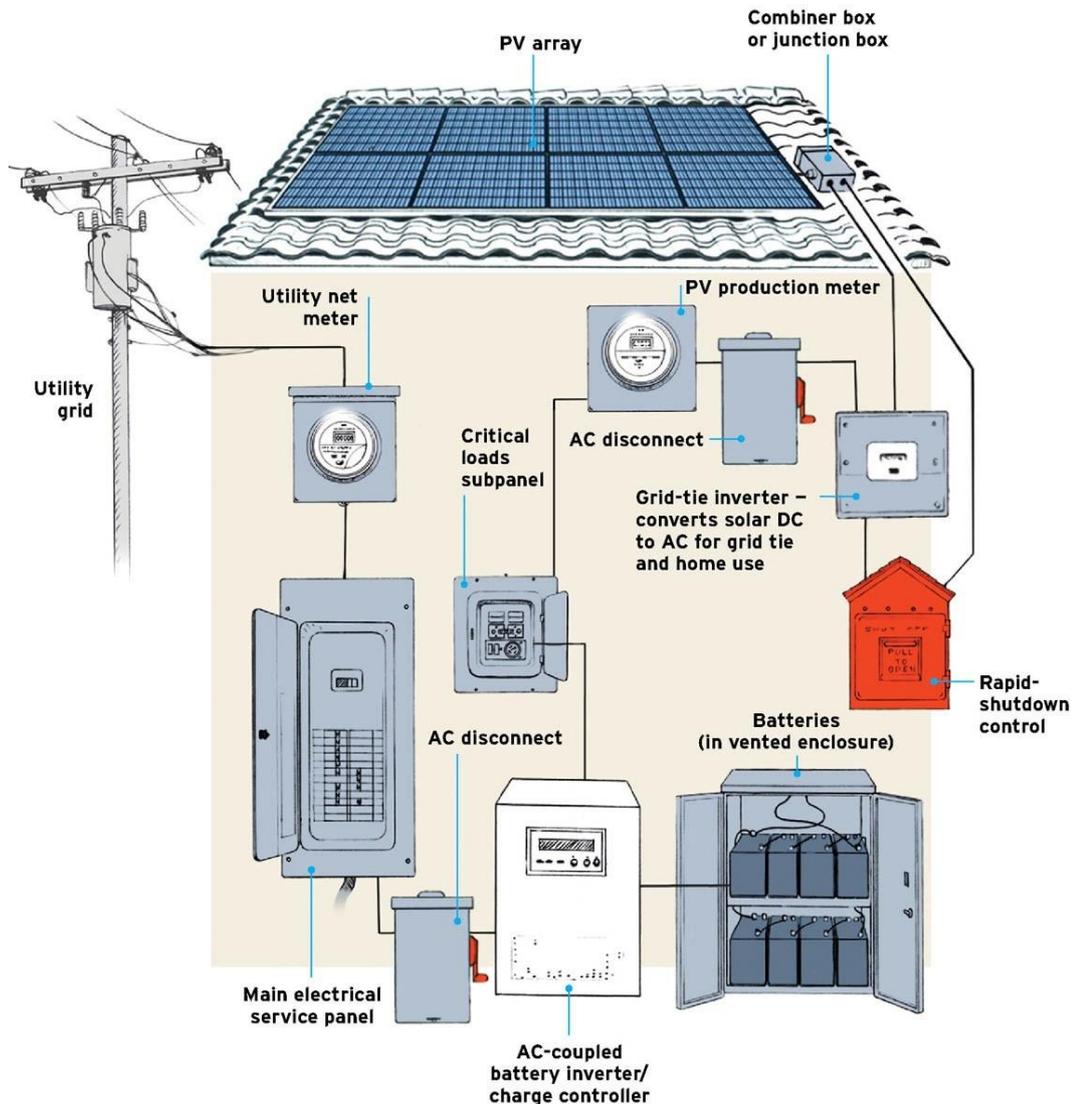
**Gambar 1.5** Sistem PV *Grid-off*

Gambar 1.5 diatas sistem PV *Grid-off* bersifat otonom atau “berdiri sendiri” karena dapat menyimpan energi di lokasi. Sebagian besar sistem *off-grid* menyertakan generator konvensional untuk menyediakan daya cadangan ketika tingkat penyimpanan baterai terlalu rendah dan energi matahari tidak mencukupi untuk mengisi ulang baterai dan/atau mengakomodasi penggunaan rumah tangga.

#### **Sistem *Grid-tied* dengan Cadangan Baterai**

Pengaturan yang terikat jaringan dapat dikombinasikan dengan cadangan baterai sehingga tenaga surya mengisi baterai dan memberi umpan balik ke jaringan bila ada kelebihan. Ketika rumah membutuhkan lebih banyak daya daripada yang dihasilkan oleh panel surya, ia dapat menarik dari grid atau baterai. Saat jaringan mati, baterai memasok daya ke subpanel beban kritis, yang melayani beberapa sirkuit rumah tangga. Hal ini memungkinkan Anda untuk menjaga hal-hal penting seperti lemari es, penerangan, komputer, dan mungkin

tungku gas tetap menyala saat listrik padam. Baterai biasanya tidak memberi daya ke seluruh rumah, karena ini akan membutuhkan bank baterai yang lebih besar dan lebih mahal.



**Gambar 1.6** Sistem PV *Grid-tied* Dengan Baterai Cadangan

Gambar 1.6 diatas Sistem yang diikat dengan jaringan dengan cadangan baterai dapat mengalirkan ke, dan menarik dari, jaringan utilitas saat jaringan beroperasi. Mereka juga dapat menyimpan energi di tempat untuk digunakan saat jaringan mati atau, opsional, selama periode tingkat puncak ketika energi jaringan paling mahal. Baterai dapat diisi ulang oleh array surya serta grid. Sebuah sistem *AC-coupled* ditampilkan di sini.

Sistem *grid-off* dengan cadangan baterai relatif kompleks, canggih secara teknis, dan mahal, jauh lebih mahal daripada sistem terikat-jaringan standar. Ada dua jenis utama sistem cadangan baterai: *DC-coupled* dan *AC-coupled*. Sistem berpasangan DC adalah standar historis, sedangkan sistem berpasangan AC menjadi lebih umum dan merupakan satu-satunya jenis yang diizinkan oleh beberapa perusahaan utilitas, karena memudahkan pelacakan produksi surya.

Beberapa catatan penting tentang sistem yang terikat jaringan dengan cadangan baterai:

1. Mengingat kerumitan sistem ini, yang terbaik adalah menyewa seorang profesional untuk desain dan pemasangan sistem. (Hanya pemasangan perangkat keras larik yang sama dengan pemasangan untuk sistem jaringan-terikat dan luar-jaringan yang ditunjukkan dalam buku ini.)
2. Anda dapat menambahkan cadangan baterai ke sistem terikat jaringan yang ada, tergantung pada jenis dan desain sistem. Jika Anda menginstal sistem grid-tied standar sekarang dan nanti memutuskan Anda ingin baterai cadangan, Anda dapat dengan mudah menambahkan komponen di lain waktu, asalkan Anda menggunakan konfigurasi AC-coupled. Sistem yang digabungkan dengan DC kemungkinan akan memerlukan pelepasan dan pemasangan ulang modul untuk mengakomodasi pengontrol muatan tegangan rendah sistem cadangan.

Sistem jaringan-terikat memiliki keuntungan dan kenyamanan menggunakan jaringan listrik sebagai sumber daya cadangan, sehingga sistem PV ini tidak harus menyediakan semua daya untuk menutupi penggunaan listrik rumah tangga Anda. Sistem *off-grid* sangat berbeda. Karena tidak ada layanan utilitas untuk menyediakan daya cadangan, Anda harus mengukur susunan PV dan bank baterai secara akurat untuk penggunaan listrik rumah tangga Anda.

Berikut adalah panduan singkat untuk terminologi dasar sistem tenaga surya. Karena Anda akan bekerja seperti seorang profesional, Anda mungkin juga terdengar seperti seorang profesional.

- **PV:** Fotovoltaik atau fotovoltaik; ilmu, atau perangkat untuk, menciptakan listrik DC dengan energi matahari (yaitu, foton, paket energi cahaya dari matahari).
- **Modul:** Panel atau kolektor PV. Pro menggunakan kata modul ketika mengacu pada sistem PV untuk membedakannya dari panel atau kolektor yang digunakan untuk sistem panas matahari untuk air panas atau pemanas ruangan.
- **Perangkat Keras:** Komponen utama sistem PV, termasuk modul dan struktur pemasangannya, inverter, pemutus, meter, saluran, kabel, kotak listrik, dan baterai, sebagaimana berlaku.
- **Mekanik:** Tahap instalasi sistem yang meliputi struktur pemasangan modul, modul, dan pengkabelan modul.
- **Struktur pemasangan:** Perakitan perangkat keras yang mendukung modul PV dan menambatkannya ke atap atau tanah.
- **Listrik:** Fase pemasangan untuk segala sesuatu di luar modul, termasuk pengkabelan, pentanahan, inverter, meteran, pemutusan sambungan, dan baterai.

### 1.3 BISA-KAH SAYA MENGINSTAL SISTEM PV SAYA SENDIRI?

Sudah waktunya untuk tes lakmus yang memberi tahu Anda apakah akan melanjutkan dengan berani sebagai pemasang surya amatir atau menyerahkan kendali kepada seorang profesional. Bagi sebagian besar dari Anda, keputusan akan tergantung pada aturan otoritas bangunan setempat (kemungkinan besar kota, kabupaten, kotapraja, atau negara bagian Anda) atau penyedia utilitas Anda, yang keduanya mungkin mengharuskan instalasi surya dilakukan oleh profesional berlisensi. Ini juga merupakan waktu terbaik untuk mengonfirmasi

bahwa proyek Anda tidak akan terganggu oleh departemen zonasi, standar distrik historis, atau asosiasi pemilik rumah Anda.

- Instalasi amatir diizinkan oleh otoritas bangunan setempat dan penyedia utilitas Anda.
- Persyaratan untuk instalasi amatir masuk akal dan dapat diterima. Beberapa otoritas mengharuskan nonprofesional untuk lulus tes yang menunjukkan pengetahuan dasar tentang listrik dan sistem rumah tangga lainnya, tetapi tes semacam itu mungkin tidak ekstensif.
- Anda baik-baik saja dengan beberapa jam pekerjaan fisik di atap (mereka yang memiliki sistem ground-mount mendapatkan izin di sini) DAN Anda cukup bijaksana untuk mengenakan peralatan penahan jatuh yang sah (bukan tali yang diikatkan di pinggang Anda). Anda mungkin merasa percaya diri seperti Mary Poppins menari di atas atap, tetapi dia bisa terbang; Anda harus ditambatkan.
- Anda tidak tinggal di distrik bersejarah atau, jika Anda tinggal, otoritas zonasi mengizinkan sistem PV (dengan batasan yang dapat diterima).
- Asosiasi pemilik rumah Anda, jika Anda memilikinya, mengizinkan sistem PV (dengan batasan yang dapat diterima). Terkadang asosiasi pemilik rumah mungkin perlu sedikit dorongan untuk memberikan izin.
- Anda memiliki jenis atap standar (sirap aspal, logam pelipit berdiri, sirap kayu, atap datar standar). Jika Anda memiliki batu tulis, genteng beton, genteng tanah liat, atau atap rapuh/khusus lainnya, konsultasikan dengan profesional atap dan/atau sewalah instalasi PV (lihat Tidak Memiliki Sirap Aspal?). Ini belum tentu merupakan pemecah kesepakatan.

**PERINGATAN:** Sistem PV pada dasarnya berbahaya dan berpotensi mematikan. Sebagai penginstal dan pemilik sistem DIY, Anda harus memahami, menghormati, dan mengurangi risiko yang terkait dengan semua tugas pemasangan dan pemeliharaan. Berikan perhatian khusus pada peringatan keselamatan yang diberikan di seluruh buku ini serta semua persyaratan di gedung setempat dan kode kelistrikan dan manual instruksi peralatan.

#### 1.4 TENAGA SURYA — DARI MULAI SAMPAI SELESAI

Fase pemasangan sistem grid-tied perumahan yang khas membutuhkan waktu sekitar dua hingga lima hari untuk diselesaikan, tergantung pada ukuran sistem. Anda dan pembantu Anda mungkin perlu satu atau dua hari lagi. Itu kabar baiknya. Berita buruknya adalah bahwa seluruh proses dapat dengan mudah memakan waktu beberapa minggu dan sering kali berlangsung hingga beberapa bulan. Mengapa? Pita merah, tentu saja. Sementara beberapa komunitas memiliki kebijakan dan prosedur ramah surya, banyak yang tetap menolak untuk merampingkan proses persetujuan. Ambil hati, dan yakinlah bahwa mereka, seperti pencela Copernicus, suatu hari nanti harus menerima pentingnya matahari.

##### 1. Tujuan

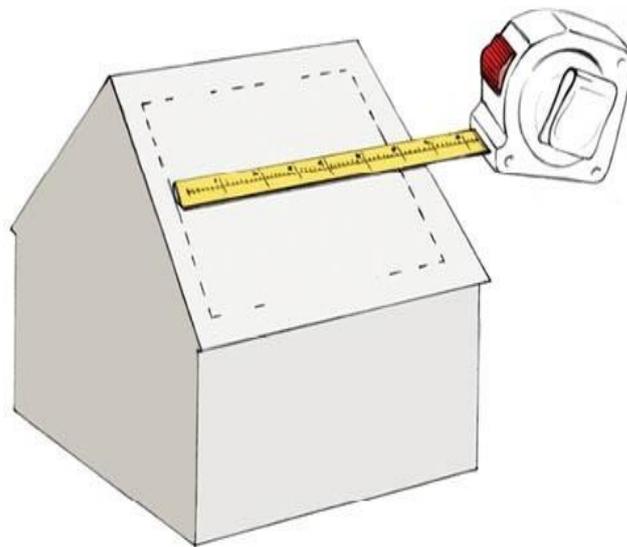
Lihat penggunaan daya listrik Anda dan pertimbangkan tujuan produksi daya, anggaran, dan kemungkinan lokasi untuk susunan PV.



**Gambar 1.7** Ilustrasi Pengeluaran karena Listrik Pemerintah

2. Pengukuran lahan

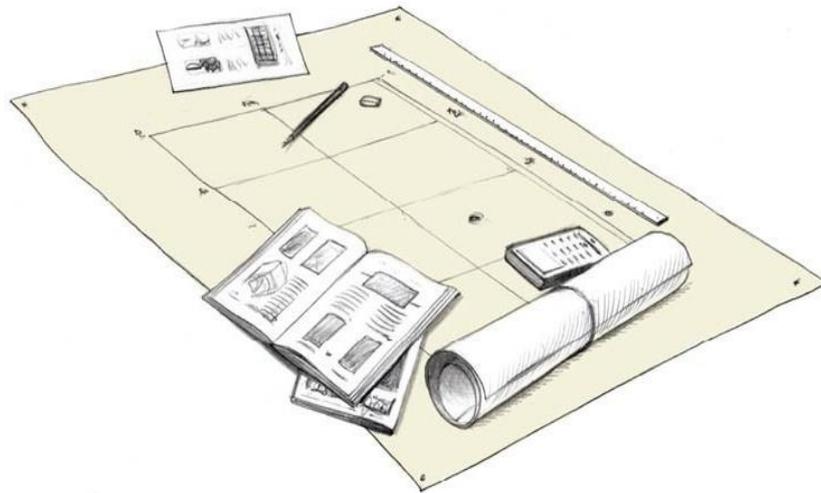
Tentukan ukuran sistem Anda (tujuan produksi listrik tenaga surya). Ukur dan petakan area pemasangan array.



**Gambar 1.8** Mengukur Atap untuk instalasi Panel Listrik Surya

3. Desain

Rancang seluruh sistem PV sesuai dengan tujuan produksi Anda. Pilih modul dan komponen utama lainnya. Lengkapi rencana sistem untuk Anda sendiri dan dokumen yang diperlukan untuk perizinan.



**Gambar 1.9** Desain panel listrik Surya

#### 4. Persetujuan

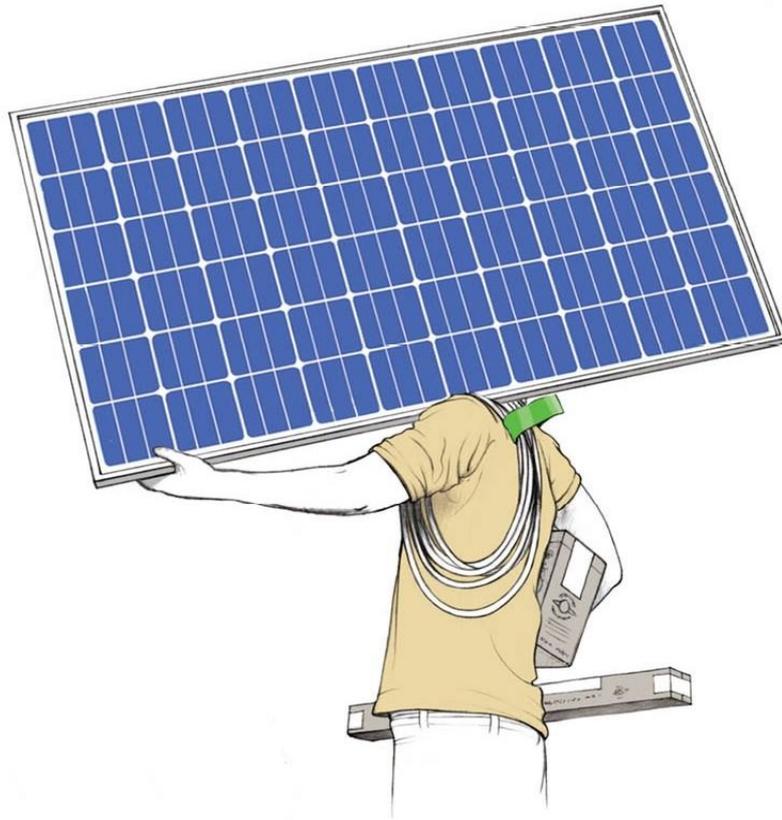
Dapatkan izin dari departemen bangunan dan zonasi, dan persetujuan dari asosiasi pemilik rumah Anda atau otoritas lain, jika diperlukan. Beberapa utilitas memerlukan perjanjian interkoneksi sebagai bagian dari proses persetujuan.



**Gambar 1.10** Ilustrasi Lisensi

#### 5. Belanja

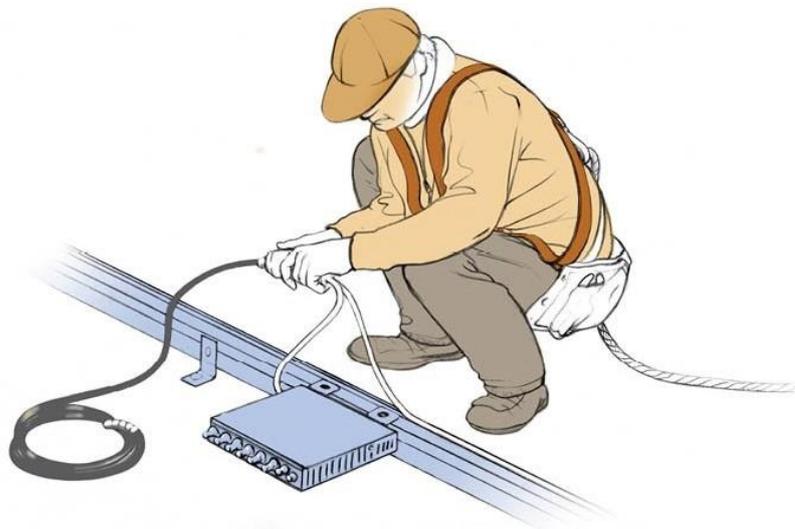
Beli perangkat keras sistem PV Anda (online atau melalui distributor atau vendor lokal) dan kirimkan ke pintu Anda. Dapatkan kabel standar, pengencang, dan perlengkapan dasar lainnya di pengecer lokal.



**Gambar 1.11** Membeli Peralatan Panel Listrik Surya

#### 6. Instalasi Mekanik

Pasang struktur pendukung modul Anda (struktur rak atap atau struktur ground-mount) dan modul PV. Instal mikroinverter, sebagaimana berlaku. Pemeriksaan kasar oleh inspektur kota biasanya terjadi di sini, biasanya sebelum pemasangan modul selesai.



**Gambar 1.12-A** Instalasi Panel Listrik Surya



**Gambar 1.12-B** Instalasi Panel Listrik Surya

7. Instalasi Listrik (Pendahuluan)

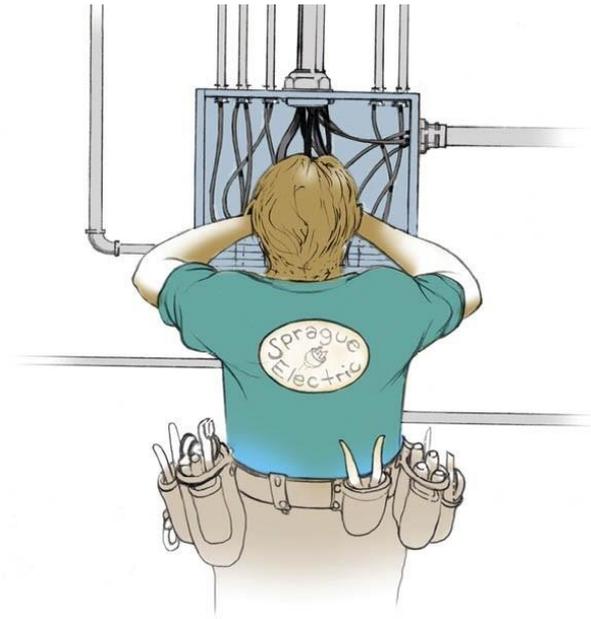
Jalankan saluran antara larik Anda dan komponen permukaan tanah. Pasang braket atau kotak pemasangan untuk inverter string, sebagaimana berlaku.



**Gambar 1.13** Instalasi Listrik

8. Instalasi Listrik (Sambungan Akhir)

Langkah ini untuk teknisi listrik Anda. Dia akan menarik kabel; pasang inverter string, pemutus AC, dan meteran produksi; dan buat semua sambungan listrik AC akhir untuk seluruh sistem PV — hingga panel servis listrik utama rumah Anda.



**Gambar 1.14** Instalasi Listrik Lanjutan

9. Pemeriksaan Akhir dan Sambungan Utilitas

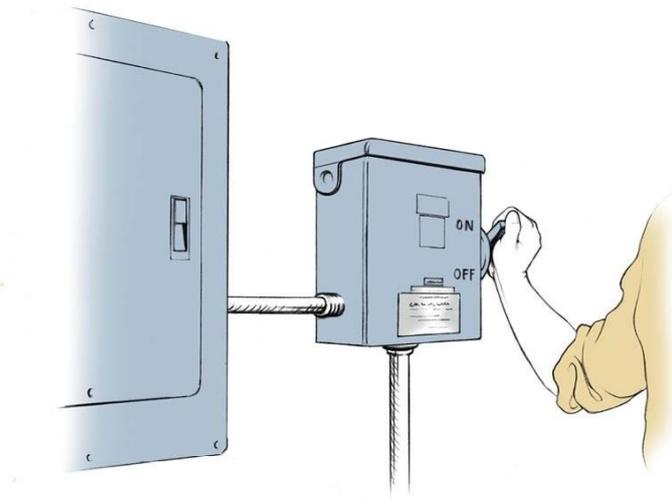
Lulus pemeriksaan akhir oleh inspektur kota, dan bawa pekerja utilitas untuk memasang meteran bersih dan menyambungkan ke jaringan listrik.



**Gambar 1.15** Pemeriksaan Peralatan

10. PTO

Dapatkan surat Izin Beroperasi (PTO) Anda dari utilitas. Kemudian nyalakan sistem PV Anda dan mulailah menggunakan tenaga yang dihasilkan oleh tenaga surya!



**Gambar 1.16** PTO

### 1.5 BEKERJA DENGAN TENAGA SURYA PROFESIONAL

Bahkan jika Anda berencana untuk melakukan sebanyak mungkin pemasangan sendiri, Anda akan memerlukan tukang listrik untuk semua yang ada di sisi AC sistem, termasuk sambungan terakhir ke listrik rumah. Anda mungkin juga perlu menyewa tenaga surya profesional, arsitek, atau insinyur untuk menyetujui desain Anda, terutama jika persetujuan tersebut diperlukan untuk izin. Bagi Anda yang telah meninggalkan opsi DIY, pemasang surya yang berpengalaman adalah cara terbaik untuk melakukannya. Berikut adalah ikhtisar dasar tenaga surya profesional yang dapat memberi saran dan membantu Anda dalam menggunakan tenaga surya.

**Temui Tenaga Surya Profesional.** Montir listrik. Ahli listrik berlisensi yang berpengalaman dengan instalasi PV perumahan dapat melakukan instalasi listrik akhir serta membantu dengan aspek lain dari desain listrik. Jika Anda memiliki pengalaman dengan pemasangan peralatan listrik, Anda dapat menegosiasikan rencana di mana Anda memasang kotak, menjalankan saluran, dan melakukan pekerjaan kasar lainnya, dan teknisi listrik Anda menarik semua kabel dan menghubungkan semua komponen. Jika Anda seorang pemula, serahkan semuanya ke tukang listrik Anda setelah array dipasang. Bagaimanapun, semua sambungan AC harus dilakukan oleh teknisi listrik berlisensi. Kontrak dengan teknisi listrik Anda selama fase desain sehingga semua pihak tahu apa yang diharapkan sebelum pemasangan dimulai.

**Arsitek/insinyur.** Arsitek dan insinyur dapat membantu dengan pertimbangan dan spesifikasi desain struktural, seperti pemasangan atap, beban atap, desain dan pemasangan struktur ground-mount, dan sistem pemasangan khusus, seperti untuk atap datar. Otoritas bangunan setempat mungkin memerlukan stempel insinyur pada rencana pemasangan apa pun. Peninjauan dan persetujuan rencana terperinci mungkin memerlukan biaya beberapa ratus dolar, sementara layanan desain dan saran ahli mungkin dikenakan tarif per jam.

**Konsultan.** Seorang DIYer mungkin menyewa pemasang surya lokal untuk berkonsultasi tentang desain, memberikan bantuan teknis, atau membeli peralatan sistem dengan harga yang kompetitif. Jika Anda ingin mendapatkan bantuan la carte semacam ini dari penginstal

atau perusahaan, ingatlah bahwa waktu penginstal adalah uang, sama seperti waktu orang lain. Tidak apa-apa untuk memanggil satu atau lebih pemasang dan bertanya tentang layanan mereka dan mendiskusikan bagaimana mereka dapat membantu proyek Anda, tetapi tahan keinginan untuk memompa mereka untuk mendapatkan saran gratis; keahlian mereka sangat berharga.

**Pemasang surya.** Pemasang surya menawarkan layanan perencanaan, desain, dan pemasangan turnkey. Mereka juga mengajukan rabat yang menurunkan biaya Anda dan memberi tahu Anda tentang keringanan pajak dan insentif lain yang harus diajukan pemilik rumah sendiri (sekali lagi, selalu tanyakan kepada penasihat pajak Anda). Pemasang yang baik menawarkan jaminan kompetitif untuk pekerjaan dan komponen sistem mereka, dan banyak yang dengan senang hati memberikan bantuan teknis di awal (tentu saja dengan alasan).

**Tips Memilih Tenaga Surya Profesional.** Memilih tenaga surya profesional untuk memasang sistem Anda, dalam banyak hal, sangat mirip dengan mencari kontraktor rumah lain, dan dasar-dasar uji tuntas pasti berlaku: dapatkan lebih dari satu tawaran, minta referensi, dan lihat sejarah dan reputasi perusahaan. Tetapi mengingat relatif muda dan pertumbuhan industri yang cepat dan fakta bahwa sebagian besar investasi Anda akan terikat pada peralatan surya, sangat penting untuk memeriksa keahlian, pengalaman, dan produk serta jaminan yang solid.



**Gambar 1.17** Pemasangan Panel Surya dengan Profesional

- **Carilah keahlian dengan sistem PV.** Bahkan jika sebuah perusahaan relatif baru, itu harus memiliki installer berpengalaman yang bertanggung jawab. Setidaknya satu anggota kru instalasi harus memiliki sertifikasi Instalasi Profesional PV dari Dewan Praktisi Energi Bersertifikat Amerika Utara (NABCEP). Anda dapat meminta bukti sertifikasi NABCEP, serta nomor lisensi teknisi listrik yang akan melakukan sambungan AC terakhir. Perusahaan instalasi biasanya harus menyediakan ini saat menawar untuk pekerjaan tertentu.
- **Periksa direktori anggota** asosiasi industri lokal jika Anda memerlukan tempat untuk memulai pencarian Anda. *Asosiasi Industri Energi Surya (SEIA)* dan *American Solar Energy Society (ASES)*, dua kelompok nasional terbesar, mensponsori banyak cabang

negara bagian dan regional. Misalnya, SEIA cabang Colorado disebut COSEIA; California adalah CALSEIA.

- **Layanan *turnkey*.** Desain, pemasangan, izin, dokumen, potongan harga, sambungan utilitas — pekerjaan. Anda seharusnya tidak diminta untuk melakukan apa pun yang biasanya dilakukan oleh seorang profesional.
- **Pemantauan data.** Sebagian besar inverter menyertakan kemampuan pemantauan (perangkat keras dan perangkat lunak) yang memungkinkan Anda memeriksa kinerja sistem PV Anda dari komputer atau perangkat lain. Tenaga surya profesional Anda harus tahu cara menghubungkan fungsi ini dan mengajari Anda cara menggunakannya.

## 1.6 PERTANYAAN UNTUK LISTRIK PANEL SURYA

Saat Anda memanggil pemasang surya profesional untuk menanyakan tentang menambahkan sistem PV ke rumah Anda, tak lama kemudian Anda akan membicarakan tiga hal: (1) area, (2) beban listrik, dan (3) anggaran. Sebagai pemasang DIY, Anda harus bertanya pada diri sendiri pertanyaan yang sama untuk memastikan bahwa Anda dan rumah Anda siap untuk proyek yang akan datang.

### 1. Area: Ke Mana Arah Modul PV?

Pada rumah khas di Belahan Bumi Utara, tempat ideal untuk susunan PV adalah atap yang menghadap ke selatan. Di sini, modul berada di luar jangkauan (dan tidak memakan tempat di halaman Anda), modul menghadap matahari selama jam sibuk siang hari, dan berada di atas banyak penghalang yang mungkin membuat bayangan ke susunan. Tidak apa-apa jika atap Anda tidak menghadap ke selatan; Sistem PV juga dapat bekerja pada atap yang menghadap ke timur dan barat, tetapi setiap rotasi ke arah selatan akan membantu. Untuk menentukan apakah atap Anda cukup besar, mulailah dengan perkiraan kasar: modul PV dapat menghasilkan sekitar 10 hingga 15 watt per kaki persegi area. Sistem 5.000 watt, atau 5-kilowatt (kW), membutuhkan sekitar 500 kaki persegi luas atap. (Kita akan menentukan ukuran dalam satu menit.) Anda mungkin dapat melakukan pengukuran cepat area atap Anda dari tangga (jika tidak, naik ke atap), tetapi ingatlah beberapa hal:

- Anda tidak dapat memasang modul dalam jarak 5 hingga 10 inci dari tepi atap atau puncak atap mana pun. Di beberapa yurisdiksi, zona larangan pemasangan ini dapat meluas sejauh 3 kaki dari tepi atau puncak; meminta otoritas bangunan setempat untuk pedoman.
- Modul tidak dapat menutupi sebagian besar penetrasi atap, seperti ventilasi pipa ledeng, cerobong asap, dan skylight. Namun, terkadang penghalang dapat dipotong lebih pendek atau dipangkas untuk memungkinkan modul dipasang di atasnya.

Konsultasikan dengan otoritas bangunan setempat untuk mendapatkan rekomendasi.

Jika atap Anda ternyata menjadi kandidat yang buruk karena keterbatasan ruang atau kurangnya paparan sinar matahari (lihat *Shade Matters*), Anda dapat mengarahkan pandangan Anda pada susunan ground-mount, yang bukanlah hal yang buruk. Pemasangan di tanah menambahkan beberapa biaya dan waktu untuk pemasangan tetapi menawarkan beberapa keuntungan utama: Anda dapat memposisikan susunan untuk paparan sinar matahari yang optimal, Anda tidak perlu mengebor lubang di atap Anda, dan Anda tidak perlu

melepas susunan untuk mengganti atap Anda. Yang Anda butuhkan adalah ruang yang cukup besar di halaman Anda atau di properti Anda yang benar-benar atau hampir bebas dari naungan sepanjang tahun.



**Gambar 1.18** Pengeboran Tiang untuk Pemasangan



**Gambar 1.19** Ground-mount dapat ditempatkan dan diposisikan untuk paparan sinar matahari yang optimal.

Jika Anda kebetulan sedang membangun rumah baru atau penambahan besar, cobalah untuk menjaga atap yang menghadap ke selatan bebas dari penetrasi, meninggalkan ruang terbuka lebar untuk susunan PV yang cukup besar.

## 2. **Beban: Berapa Banyak Listrik Yang Anda Butuhkan?**

Jawab pertanyaan ini dengan menentukan berapa banyak listrik yang Anda gunakan. Ini semudah menjumlahkan tagihan listrik selama satu tahun.

Namun, melihat dua tahun atau lebih lebih baik, terutama jika Anda memiliki AC atau pemanas listrik apa pun, karena ini lebih bergantung pada cuaca daripada pencahayaan dan

penggunaan peralatan biasa. Pastikan untuk menggunakan hanya tahun penuh untuk akurasi, dan hanya untuk melihat penggunaan listrik, bukan gas alam atau minyak pemanas.

Kumpulkan tagihan listrik Anda selama 12 bulan berturut-turut dan jumlahkan total penggunaan kilowatt-jam (kWh) setiap bulan untuk menentukan penggunaan tahunan Anda. Banyak tagihan utilitas sekarang memiliki diagram batang atau grafik yang menunjukkan penggunaan listrik bulanan Anda sepanjang tahun pada satu tagihan. Jika Anda melihat tagihan lebih dari satu tahun, jumlahkan total dari semua tahun lengkap dan bagi dengan jumlah tahun untuk menemukan penggunaan tahunan rata-rata. Anda akan menggunakan angka ini untuk perbandingan saat Anda menghitung perkiraan produksi surya sistem Anda dengan PVWatt, di bab 2.

Catatan: Banyak tagihan listrik sekarang memiliki diagram batang atau grafik yang menunjukkan penggunaan listrik bulanan Anda sepanjang tahun pada satu tagihan. Jika Anda penasaran, rata-rata nasional adalah sekitar 900 kWh per bulan (kebanyakan rumah berkisar antara 400 hingga 1.000 kWh/bulan), atau sekitar 11.000 kWh per tahun. Itu angka yang cukup tinggi, tetapi jika Anda tidak memanaskan dengan listrik atau mendinginkan rumah Anda dengan AC konvensional, penggunaan Anda mungkin jauh di bawah rata-rata. Tentu saja, efisiensi energi signifikan apa pun yang dapat Anda gunakan sekarang apakah itu mengganti lampu pijar lama dengan LED, mencabut kulkas ekstra di garasi, atau mengganti AC Anda dengan kipas seluruh rumah atau pendingin evaporatif akan memungkinkan Anda untuk bertahan hidup. Dengan sistem PV yang lebih kecil dan lebih murah.

Modul PV dapat dengan mudah bertahan lebih dari 30 tahun, yang berarti mereka kemungkinan akan hidup lebih lama dari bahan atap Anda. Dan atap baru berarti melepas modul untuk sementara. Bukan masalah besar, terutama jika Anda menginstalnya di tempat pertama. Tapi itu bukan sesuatu yang ingin Anda lakukan setelah hanya satu atau dua tahun. Jadi jika atap Anda siap untuk diganti, Anda harus berpikir serius untuk menangani pekerjaan itu sebelum menambahkan sistem PV.

### **3. Anggaran: Berapa Banyak yang Dapat Anda Habiskan?**

Untuk referensi umum, sistem PV dengan instalasi DIY dapat berharga sekitar Rp 30.000 per watt kapasitas. Instalasi profesional biasanya dapat menelan biaya mulai dari Rp 45.000 hingga Rp 75.000 per watt. Sistem perumahan biasanya berkisar dalam ukuran (atau keluaran) dari sekitar 3 sampai 8 kilowatt. Itu berarti total biaya awal sekitar Rp 90.000.000 hingga Rp 240.000.000 untuk sistem DIY dan sekitar Rp 225.000.000 hingga Rp 450.000.000 untuk sistem yang dipasang secara profesional. Sistem yang lebih kecil cenderung lebih mahal per wattnya daripada sistem yang lebih besar, karena skala ekonomi.

Terlepas dari siapa yang menginstal sistem Anda, potongan pajak federal yang tersedia hingga tahun 2021 dapat mengurangi total biaya Anda hingga 30%. Ini adalah kredit pajak yang dikurangi dari jumlah pajak yang harus Anda bayar; itu bukan cek dari pemerintah federal. Rabat tambahan dan insentif yang ditawarkan oleh utilitas atau program negara bagian atau lokal dapat mengurangi biaya lebih lanjut. Lihat Solar Financials untuk informasi lebih lanjut tentang insentif keuangan.

Seperti yang mungkin pernah Anda dengar, rabat dan insentif lainnya tampaknya merupakan jenis yang sekarat, tetapi jangan merasa terlalu buruk. Saat ini biaya sistem PV adalah sekitar sepertiga dari biaya pada tahun 2000. Dan jika Anda memasang sistem PV pada tahun 1970-an, Anda mungkin telah membayar mulai dari Rp 180.000 hingga Rp 750.000 per watt.

Setelah menjawab pertanyaan Tiga Besar (atau setidaknya mendiskusikannya), langkah profesional selanjutnya adalah mengunjungi rumah Anda untuk melakukan pengukuran dan melakukan penilaian yang lebih menyeluruh terhadap situs Anda. Anda akan melakukan hal yang sama dan itulah fokus dari bab 2.

### 1.7 VOLTS, AMPS, WATTS, DAN WATT-JAM

Listrik adalah hasil dari elektron yang mengalir melalui penghantar, seperti kabel dalam rangkaian listrik standar. Semua rangkaian listrik memiliki ukuran tegangan (atau volt) dan arus listrik (atau amp). Sederhananya, tegangan adalah ukuran tekanan dalam suatu rangkaian, gaya yang mendorong elektron melaluinya. Ampere, juga disebut arus, adalah ukuran aliran elektron dalam suatu rangkaian. Bersama-sama, tegangan dan arus listrik memberi tahu kita berapa banyak listrik yang bergerak melalui sirkuit, serta berapa banyak listrik yang dapat ditangani oleh sirkuit dengan aman.

Watt adalah satuan daya seketika yang memungkinkan kita menghitung penggunaan perangkat listrik. Ini diperoleh dengan mengalikan tegangan dan arus listrik dalam rangkaian listrik ( $\text{volt} \times \text{amp} = \text{watt}$ ). Sebuah alat 10-amp yang dihubungkan ke sirkuit rumah tangga standar 120 volt memiliki peringkat watt 1.200 ( $10 \times 120 = 1.200$ ). Peringkat ini memberi tahu Anda berapa watt yang digunakan alat dalam kondisi pengoperasian normal. Beberapa peralatan, seperti lemari es dan AC, menggunakan lebih dari watt terukurnya saat motor dihidupkan. Namun, kami tertarik pada penggunaan energi, yang merupakan kekuatan dari waktu ke waktu. Untuk mengetahui penggunaan energi, cukup ambil peringkat daya perangkat dan kalikan dengan jumlah jam penggunaan perangkat:

- Sebuah bola lampu 10 watt berjalan selama 1 jam menggunakan 10 watt jam listrik.
- Kipas angin 100 watt yang bekerja selama 10 jam menggunakan 1.000 watt-jam, atau 1 kilowatt-jam (kWh), listrik. Jadi, kilowatt-jam = watt-jam dibagi 1.000.



**Gambar 1.20** *electrical cable*

## BAB 2 MENILAI SITUS ANDA

### 2.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

Sekarang setelah Anda mengambil langkah pertama untuk memperkirakan kebutuhan energi Anda dan memikirkan ke mana arah sistem PV Anda, inilah saatnya untuk melihat lebih dekat keduanya untuk menentukan lokasi terbaik untuk array dan, pada akhirnya, seberapa besar kebutuhannya. menjadi. Anda akan menentukan ukuran dan output dengan PVWatts, kalkulator online gratis yang disediakan oleh National Renewable Energy Laboratory (NREL). PVWatt menggunakan lokasi rumah Anda dan beberapa faktor lain untuk memperkirakan jumlah listrik yang dapat Anda harapkan untuk dihasilkan dengan ukuran sistem tertentu. Yang tidak dapat dilakukan adalah mengunjungi situs Anda, jadi tugas Anda adalah mengukur area pemasangan, kemiringan atap, dan azimut Anda (tidak seburuk kedengarannya) dan mempertimbangkan faktor tambahan, seperti naungan, untuk menghasilkan ukuran sistem yang akurat dan realistis.



**Gambar 2.1** Lokasi rumah untuk menentukan ukuran dan output PVWatts

### 2.2 MENGUKUR AREA, KEMIRINGAN, DAN AZIMUTH

Area, kemiringan, dan azimuth adalah ukuran yang menggambarkan penempatan dan posisi larik Anda di masa mendatang. Mereka adalah faktor desain utama yang khusus untuk situs Anda, dan Anda akan membutuhkannya untuk menggunakan kalkulator PVWatts.

- Area: Rekaman persegi yang dapat digunakan dari ruang atap atau area tanah untuk memasang modul PV.
- Kemiringan: Sudut, atau nada, dari atap Anda. Kemiringan menentukan kemiringan modul.
- Azimuth: Arah wajah susunan atap atau ground-mount Anda (selatan, tenggara, barat, dll.), diukur dalam derajat.

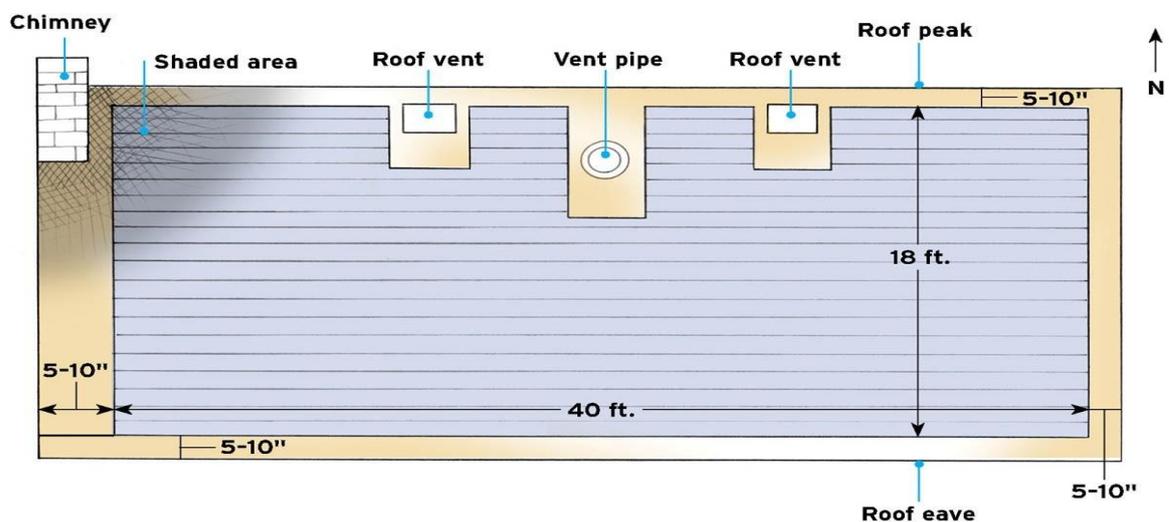
Dengan sistem atap, ketiga faktor ini dibatasi oleh apa yang sudah atau akan Anda bangun. Dengan sistem ground-mount, Anda dapat memilih kemiringan (sudut kemiringan

modul) dan azimut, asalkan ada area yang cukup di lokasi yang sesuai dengan naungan minimal.

### Bagaimana Mengukur Luas

Pengukuran yang akurat paling mudah dilakukan dengan alat bantu dan pita pengukur sepanjang 25 kaki atau lebih panjang. Jika Anda suka, Anda dapat merekam pengukuran Anda pada peta sederhana. Langkah-langkah berikut berlaku untuk susunan atap. Untuk susunan ground-mount, cukup ukur ruang terbuka yang tersedia di area pemasangan yang paling mungkin di halaman atau properti Anda.

1. Sebelum Anda naik ke atap, buatlah peta tampilan udara sederhana dari area atap yang cocok untuk modul PV; ini biasanya merupakan area atap yang menghadap ke selatan, tenggara, atau barat daya. Catat di peta Anda lokasi relatif penetrasi dan penghalang, seperti ventilasi atap, pipa ledeng, skylight, dan cerobong asap.
2. Setelah Anda berada di atap, ukur panjang dan lebar setiap bidang atap di peta Anda. Ruang yang sesuai biasanya berukuran setidaknya 15 kaki dari atap ke puncak atap (juga disebut punggungan) dan 20 kaki dari sisi ke sisi, tetapi dimungkinkan untuk memasang pengelompokan kecil modul di area yang lebih kecil.
3. Kurangi 5 hingga 10 inci dari area pemasangan untuk setiap tepi atap dan punggungan untuk memungkinkan margin minimum yang diperlukan di sekitar susunan. Ingat, otoritas bangunan lokal Anda mungkin memiliki persyaratan yang berbeda, seperti jalur lalu lintas selebar 2 atau 3 kaki untuk petugas pemadam kebakaran; margin 5 hingga 10 inci di punggungan dan tepinya mencegah pengangkatan angin pada modul.
4. Ukur dan catat lokasi semua rintangan dan penetrasi. Sertakan margin beberapa inci di sekitar semua sisi setiap rintangan. Catatan: Jika penghalang akan membuat bayangan di atas area pemasangan mana pun selama jam-jam puncak matahari, Anda mungkin perlu menghilangkan area yang diarsir dari total Anda (lihat Salju, Angin, dan Naungan).
5. Perhatikan dimensi area pemasangan tertentu, terutama jika ruang terpotong karena penetrasi dan penghalang. Anda akan menggunakan dimensi ini untuk menentukan berapa banyak modul yang dapat Anda muat di area tertentu.



**Gambar 2.2** Dimensi area pemasangan

### Bagaimana Mengukur Kemiringan

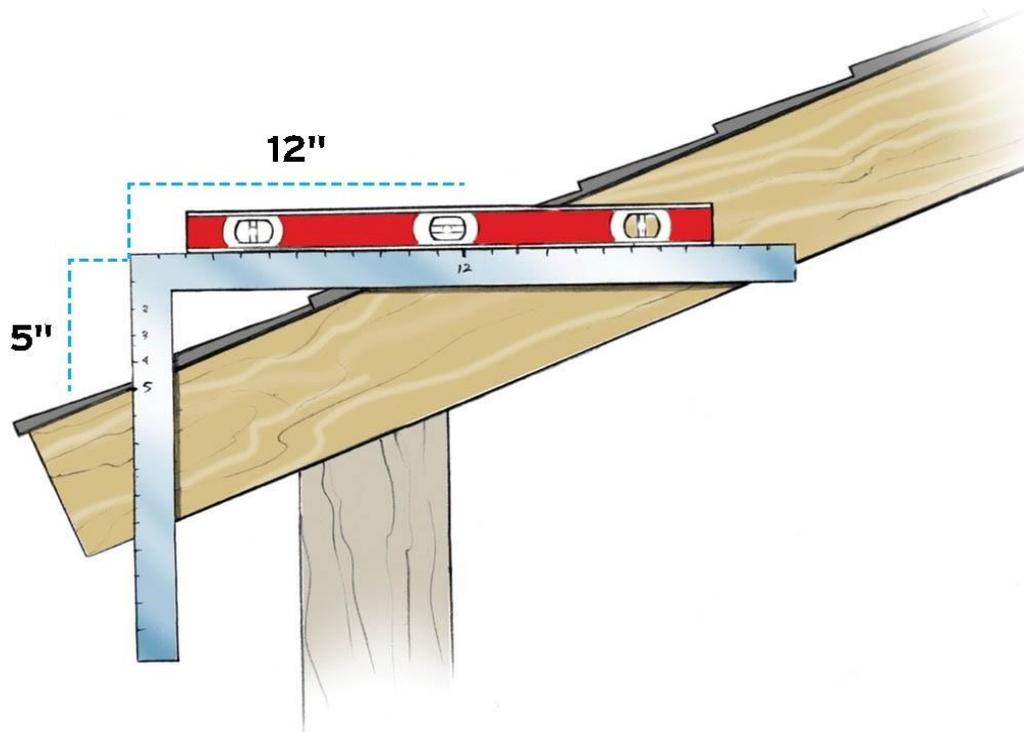
Ada beberapa metode untuk mengukur kemiringan atap. Jika Anda memiliki ponsel cerdas, lihat apakah itu termasuk aplikasi level (ukuran untuk levelness). Ini mungkin bagian dari aplikasi kompas, yang akan Anda gunakan untuk mengukur azimuth. Buka aplikasi level; atur telepon, di tepi, di atap; dan membaca derajat sudut yang diberikan. Metode lain adalah dengan menggunakan alat murah yang disebut inclinometer. Ini berfungsi seperti versi analog dari aplikasi telepon: letakkan di atap dan baca sudut derajat yang ditunjukkan oleh panah. Lalu ada metode jadul, yang membutuhkan sedikit latar belakang. Dalam bahasa pembangun, kemiringan (atau pitch) bidang atap dinyatakan dalam rasio naik-lari. Pitch atap 5-in-12 (atau 5:12) naik 5 inci untuk setiap 12 inci lari horizontal. Bagan di bawah ini menunjukkan bahwa atap 5:12 miring pada 22,6 derajat.

Anda dapat mengukur naik dan lari dengan kotak bingkai (kotak tukang kayu) dan level kecil, seperti level torpedo atau level 2 kaki (lihat gambar di bawah).

1. Posisikan bujur sangkar pada tepi atap sehingga ujungnya memotong tanda 12 inci pada kaki horizontal bujur sangkar yang panjang dan mendatar.
2. Dengan menggunakan level sebagai panduan, sesuaikan bujur sangkar sehingga kaki horizontal sejajar dengan sempurna.
3. Perhatikan di mana tepi atap berpotongan dengan kaki vertikal bujur sangkar; ini adalah nilai kenaikan. Jika kaki vertikal menunjukkan 5 inci, Anda memiliki kemiringan atap 5-in-12.
4. Ubah kemiringan lereng naik menjadi derajat, menggunakan grafik. Anda juga dapat menemukan grafik konversi online, misalnya, di PVWatts (klik "i" di baris "Miring (derajat)" di halaman "Info Sistem"). Atau Anda dapat menggunakan kalkulator ilmiah: sudut derajat adalah kebalikan dari tangen naik/lari: bagi kenaikan dengan run, lalu tekan tombol invers tangen pada kalkulator Anda.

SLOPE	3:12	4:12	5:12	6:12	7:12
DEGREE ANGLE	14.04	18.43	22.62	26.57	30.26
SLOPE	8:12	9:12	10:12	11:12	12:12
DEGREE ANGLE	33.69	36.87	39.81	42.51	45.00

**Gambar 2.3** Tingkat atap ke derajat



**Gambar 2.4** Atap ini memiliki kemiringan 5-in-12 (22,6 derajat).

#### **Tidak Memiliki Kotak Framing?**

Jika Anda tidak memiliki bujur sangkar, gunakan level apa pun yang panjangnya setidaknya 12 inci (atau pasang level kecil ke papan sepanjang satu kaki) dan pita pengukur. Tandai level 12 inci dari satu ujung. Posisikan ujung level yang sama di atas atap dan tahan levelnya. Ukur lurus ke bawah dari tanda 12 inci untuk menemukan kenaikannya.

#### **Bagaimana Mengukur Azimuth**

Azimuth adalah arah kompas yang dihadapi array PV. Untuk sebagian besar susunan atap, ini juga merupakan arah menghadap atap. Sebuah larik yang menghadap ke utara memiliki azimuth 0 derajat; arah timur 90 derajat, arah selatan 180 derajat, dan arah barat 270 derajat. Anda dapat mengukur azimuth dengan smartphone atau kompas kuno. Ponsel cerdas lebih mudah karena mereka mengkalibrasi dirinya sendiri ke lokasi Anda sehingga Anda tidak perlu memperhitungkan deklinasi magnetik (variasi antara utara sejati dan utara magnetik). Aplikasi kompas juga berfungsi di tablet, dan Anda dapat mengunduh versi gratis untuk perangkat apa pun yang kompatibel.

Untuk menggunakan aplikasi kompas, cukup buka aplikasi dan ikuti petunjuk untuk kalibrasi. Saat aplikasi sudah siap, berdirilah dengan punggung menghadap ke atap di mana array akan pergi, dan pegang telepon rata di tangan Anda dan tepat di depan Anda. Aplikasi ini memberi Anda sudut tepat yang dihadapi bidang atap; ini adalah azimuth untuk atap Anda. Anda dapat menggunakan kompas kuno dengan cara yang sama. Ingatlah untuk memperhitungkan deklinasi magnetik untuk lokasi Anda. Jika Anda tidak mengetahui informasi itu dari atas kepala Anda, Anda dapat mencarinya dengan kalkulator online yang disediakan oleh National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Juga, pastikan

tidak ada logam atau benda magnetik lain di dekatnya, karena ini dapat membuang jarum kompas. Jangan lupa jam tangan logam atau ikat pinggang Anda!

Bagi Anda yang merencanakan susunan ground-mount, umumnya paling baik jika susunan menghadap ke selatan, azimuth 180 derajat.

### **Atap Datar Bekerja, Juga**

Susunan PV di atap miring biasanya dipasang ke sistem rak "flush-mount" (sejajar dengan kemiringan atap) yang ditambatkan ke rangka atap. Susunan pada rumah dengan atap datar menggunakan penopang khusus yang ditahan dengan beban (disebut pemberat); susunannya biasanya tidak diikat ke atap. Struktur pemasangan tersedia dengan berbagai sudut kemiringan, biasanya berkisar antara 10 hingga 20 derajat dan hampir selalu kurang dari 20 derajat. Modul pada sudut yang lebih curam tunduk pada beban angin yang lebih tinggi dan seringkali harus ditambatkan secara mekanis ke atap. Jika tidak, semakin tinggi kemiringan dan/atau beban angin, semakin banyak pemberat yang dibutuhkan. Lihat Struktur Pemasangan untuk Atap Datar untuk informasi lebih lanjut.

## **2.3 MENGUKUR SISTEM ANDA DENGAN PVWATT**

Hanya untuk bersenang-senang, luangkan waktu sebentar untuk online ke kalkulator PVWatts ( [pvwatts.nrel.gov](http://pvwatts.nrel.gov)). Masukkan kota dan negara bagian Anda, lalu klik "Pergi". Di halaman berikutnya, klik lokasi peta yang paling dekat dengan rumah Anda, atau tetap dengan lokasi default yang dipilih untuk kota Anda, lalu klik panah oranye besar berlabel "Go to system info." Di halaman berikutnya, klik panah oranye besar berlabel "Buka hasil PVWatts." Ledakan. Angka dalam tipe besar di atas adalah berapa banyak listrik AC yang dapat Anda hasilkan per tahun di lokasi Anda dengan sistem 4 kW (DC) menghadap ke selatan. Ukuran sistem dan input default lainnya sudah ada di kalkulator.

Tentu saja, sistem Anda mungkin tidak menghadap ke selatan dan mungkin bukan 4 kW, tetapi latihan 60 detik ini menunjukkan betapa mudahnya untuk mulai menggunakan PVWatt. Tidak perlu login atau registrasi, tanpa biaya, dan tanpa iklan untuk mengobati jamur kuku. Sekarang, itulah yang dilakukan pemerintah dengan benar.

PVWatts sangat sederhana di permukaan, tetapi ada banyak lagi yang dapat Anda lakukan dengannya untuk meningkatkan akurasi. Ini dirancang untuk coba-coba, sehingga Anda dapat dengan mudah mengklik bolak-balik di antara halaman, memasukkan data yang berbeda, dan segera meninjau hasilnya. Halaman "Info Sistem" adalah tempat Anda memasukkan data spesifik Anda.

## **2.4 PARAMETER INFO SISTEM**

Halaman "Info Sistem" PVWatt mencakup enam parameter desain dasar untuk mengukur sistem PV Anda. Kami akan membahas masing-masing secara singkat di sini, dan Anda dapat merujuk ke PVWatt untuk detail lebih lanjut, sesuai kebutuhan; cukup klik tombol "i" di sebelah kanan setiap parameter. Ada juga tombol berlabel "Parameter Lanjutan." Anda dapat mengabaikan ini untuk saat ini dan mengandalkan input default sistem; kemungkinan besar, Anda tidak perlu mengubah nilai-nilai ini.

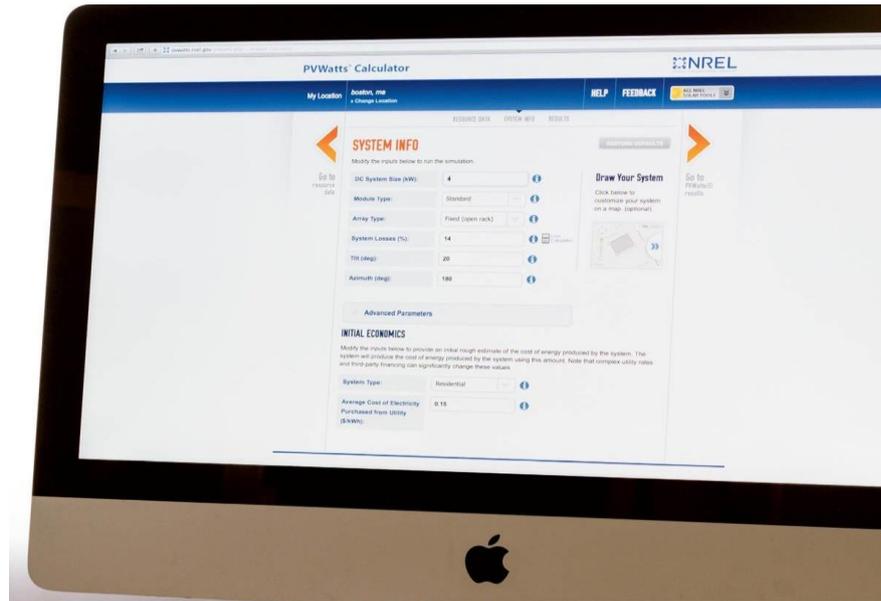
## 2.5 UKURAN SISTEM DC

Ukuran sistem adalah keluaran terukur daya DC untuk seluruh susunan surya (lihat Peringkat STC). Sebuah sistem dengan susunan 20 modul PV dengan nilai 250 watt masing-masing adalah sistem 5 kW ( $20 \times 250 \text{ watt} = 5.000 \text{ watt}$ ). Ukuran sistem default pada PVWatt adalah 4 kW, tetapi Anda dapat mengubahnya ke ukuran apa pun yang Anda sukai. Jangan khawatir tentang memasukkan ukuran pada awalnya; ketika semua parameter Anda yang lain sudah siap, Anda dapat bermain-main dengan ukuran yang berbeda dan dengan cepat memeriksa hasilnya sampai Anda menemukan ukuran sistem yang menghasilkan output daya target Anda.

Perhatikan bahwa output target Anda dalam AC dan mewakili jumlah listrik yang dapat digunakan yang dihasilkan setiap tahun oleh sistem. Ukuran sistem DC tidak sama dengan produksi AC tahunan. Sangat mudah untuk bingung di sini karena, tergantung di mana Anda tinggal, ukuran sistem DC dan produksi tahunan mungkin memiliki nomor yang sama. Misalnya, sistem 5 kW (5.000 watt) dapat menghasilkan sekitar 5.000 kilowatt-jam (kWh) listrik setiap tahun. Tetapi untuk semua maksud dan tujuan Anda dapat menganggap ini sebagai kebetulan. Sebuah sistem 5 kW mampu menghasilkan 5.000 watt listrik DC pada saat tertentu di bawah kondisi ideal dan sinar matahari puncak. Berapa banyak energi yang dapat digunakan yang dapat disediakan oleh sistem ukuran yang sama untuk rumah Anda setiap tahun didasarkan pada banyak faktor, dan itulah yang dihitung PVWatt untuk Anda. Menggunakan lokasi Anda dan azimuth dan kemiringan atap (atau ground-mount), ini memperkirakan berapa banyak sinar matahari yang akan diterima sistem Anda sepanjang tahun dan oleh karena itu berapa banyak listrik yang mungkin dihasilkan.

### Tipe Modul

Parameter ini memungkinkan Anda memilih salah satu dari tiga jenis modul PV: modul crystalline-silicon (c-Si) konvensional standar atau premium atau modul film tipis. Modul c-Si konvensional adalah tipikal untuk sistem tenaga rumah, jadi Anda mungkin akan menggunakan modul standar (dengan efisiensi sekitar 15%) atau Anda akan membayar lebih untuk modul premium (dengan efisiensi hingga sekitar 20%). Jika Anda mengetahui modul persis yang akan Anda gunakan, Anda dapat merujuk ke lembar data pabrikan untuk membantu memilih standar versus premium. Jika tidak, gunakan tipe default: standar. Jika Anda menggunakan modul yang terbuat dari bahan sel surya a-Si, CIGS, atau CdTe, maka Anda akan memilih "Thin-film" sebagai jenis modul Anda.



**Gambar 2.5** Kalkulator Pvwatts

### Tipe Array

Tipe lariknya adalah tipe pemasangan modul: atap atau pemasangan di tanah. Jika Anda memasang sistem atap flush-mount standar, pilih "Fixed (roof mount)" di menu tarik-turun. Jika Anda melakukan sistem ground-mount atau sistem atap datar (di mana modul dimiringkan pada permukaan atap yang datar), pilih "Tetap (rak terbuka)," kecuali Anda tertarik menggunakan sistem pelacakan (lihat Apa itu Pelacakan?, di bawah). Opsi tetap (rak terbuka) memberi Anda sedikit keuntungan kinerja karena suhu rata-rata yang lebih rendah dari susunan ground-mount (atau atap datar) dibandingkan sistem atap flush-mount. Sebagian besar modul PV sedikit kurang produktif pada suhu di atas 77°F (25°C), suhu yang mudah digunakan bahan sel surya di atap. Jika Anda menggunakan pelacakan, pilih "Sumbu tunggal" atau "Sumbu ganda" untuk jenis larik Anda.

### Apa Pelacakan?

Pelacakan biasanya merupakan opsi hanya untuk sistem pemasangan di tanah. Ia bekerja melalui motor atau perangkat lain yang secara otomatis menggerakkan susunan PV sepanjang hari untuk memaksimalkan radiasi matahari (berapa banyak sinar matahari yang ditangkap oleh modul). Pelacakan sumbu tunggal memutar larik dari timur ke barat, mengikuti matahari melintasi langit sepanjang hari. Pelacakan sumbu ganda memutar dan memiringkan susunan sehingga selalu menghadap matahari secara langsung.

Sistem perumahan dengan pelacakan biasanya melibatkan dudukan tiang tunggal yang menampung sekitar 8 hingga 12 modul ukuran penuh. Sistem yang lebih besar memerlukan banyak dudukan, masing-masing dengan perangkat pelacaknya sendiri. Mengingat biaya pelacakan tambahan, sebagian besar sistem tenaga rumah menggunakan ground-mount tetap sebagai gantinya. Pelacakan juga memperkenalkan bagian yang bergerak dan kebutuhan perawatannya. Jika Anda tertarik untuk melacak, ada baiknya berkonsultasi dengan ahli surya untuk saran desain dan pemasangan.

Beberapa penyangga susunan ground-mount tetap dapat disesuaikan dan dapat dimiringkan secara manual untuk menghadap matahari di musim yang berbeda. Ini menawarkan beberapa manfaat pelacakan tanpa biaya tambahan dan masalah pemeliharaan. Sebagai alternatif, jika Anda memiliki ruang, cukup dengan menambahkan beberapa modul lagi ke susunan ground-mount tetap dapat menawarkan peningkatan output yang sama yang akan Anda dapatkan dengan sistem pelacakan tetapi akan melakukannya dengan lebih murah dan, sekali lagi, tanpa memindahkan suku cadang dan pemeliharaan tambahan.

## 2.6 KERUGIAN SISTEM

Singkatnya, kerugian sistem adalah total dari semua pengurangan kecil dalam efisiensi karena inefisiensi peralatan dan kondisi operasi dunia nyata. Kerugian memperhitungkan perbedaan antara daya DC pengenal maksimum dari array dan daya AC aktual yang diumpankan ke rumah Anda atau jaringan utilitas.

Nilai kerugian sistem default di PVWatts adalah 14%, memberi Anda efisiensi sistem secara keseluruhan sebesar 86% ( $100\% - 14\% = 86\%$ ). Ini berarti bahwa jika susunan Anda diberi peringkat untuk daya DC 5 kW, itu akan menghasilkan 4,3 kW daya AC yang dapat digunakan ( $5.000 \text{ watt} \times 0,86 = 4.300 \text{ watt}$ ). Namun, kami merekomendasikan nilai kerugian yang agak lebih tinggi yaitu 18%; lihat bagan Kerugian Sistem PV (di bawah) untuk rinciannya. Ini didasarkan pada pengalaman puluhan tahun dengan sistem PV. Atau, Anda dapat mempelajari tentang setiap kategori kerugian di PVWatts dan memasukkan nilai Anda sendiri ke dalam kalkulator kerugian untuk mendapatkan persentase kerugian sistem.

## 2.7 KEHILANGAN SISTEM PV

Saat mengonversi peringkat DC ke output AC, kami merekomendasikan nilai kerugian rata-rata 18%, berdasarkan rentang berikut.

KOTOR 2%–3%

(Debu/puing-puing pada modul, mengurangi arus)

KETIDAKSANAAN MODUL PV 2%–3%

(Sedikit perbedaan performa antar modul dapat mengurangi efisiensi secara keseluruhan)

KEHILANGAN GARIS 2%–3%

(Tegangan turun saat listrik mengalir melalui kabel)

EFISIENSI INVERTER DC–AC 2%–3%

(Kerugian dalam mengkonversi dari DC ke AC)

KETERSEDIAAN SISTEM 2%–3%

(Saat sistem mati karena masalah/pemeliharaan peralatan)

BAYANGAN 2%–3%

(Kerugian produksi karena naungan modul)

PTC VS. PERINGKAT STC 2%–3%

(Tunjangan untuk peringkat kinerja yang lebih rendah; lihat di sini)

TOTAL 14%–21%

(Kami merekomendasikan menggunakan 18%)

### **Memiringkan**

Kemiringan adalah sudut modul PV Anda, diukur dalam derajat: 0 derajat horizontal; 90 derajat vertikal. Untuk pemasangan flush-mount standar pada atap miring, masukkan kemiringan atap Anda dalam derajat. Untuk sistem ground-mount, ingatlah bahwa Anda harus memilih kemiringan. Kemiringan yang sama dengan garis lintang lokasi Anda adalah kompromi standar untuk produksi sepanjang tahun. (Kemiringan yang lebih rendah menghasilkan produksi yang lebih tinggi di musim panas; kemiringan yang lebih curam lebih produktif di musim dingin.) Sebagai contoh, Denver, Colorado, berada pada garis lintang 40 derajat, jadi sudut kemiringan standar untuk sistem pemasangan di permukaan tanah adalah 40 derajat; namun, kemiringan dari 30 hingga 45 derajat akan berfungsi dengan baik di Colorado. Anda dapat mencari garis lintang lokasi Anda dengan pencari garis lintang/garis bujur online.

Anda juga dapat memasang sudut kemiringan yang berbeda di PVWatt dan membandingkan hasilnya. Perhatikan bahwa halaman "Hasil" memberi Anda keluaran larik untuk setiap bulan dalam setahun, memungkinkan Anda melihat bagaimana perubahan kemiringan memengaruhi keluaran selama musim yang berbeda. Perhatikan juga bahwa meskipun nilai musim panas dan musim dingin dapat berubah secara signifikan saat Anda memvariasikan kemiringan, total keluaran energi tahunan dapat berubah hanya beberapa poin persentase. Dengan kata lain, biasanya seimbang sepanjang tahun.

### **Azimut**

Cukup masukkan nilai derajat yang Anda hitung sebelumnya. Jika Anda merencanakan sistem ground-mount dan memiliki fleksibilitas dalam memposisikan array, Anda dapat bermain-main dengan nilai azimuth yang berbeda untuk mengonfirmasi posisi ideal untuk lokasi Anda.

### **Bekerja dengan Hasil**

Setelah Anda memasukkan parameter dasar Anda di halaman "Info Sistem", klik panah oranye berlabel "Buka hasil PVWatts." Angka yang Anda dapatkan adalah rata-rata produksi kilowatt-jam tahunan (sekali lagi, dalam daya AC) yang dapat Anda harapkan dengan sistem 4 kW (ukuran sistem DC terukur), kecuali jika Anda memasukkan ukuran sistem yang berbeda. Ini mungkin terlalu rendah untuk memenuhi kebutuhan listrik Anda (karena rata-rata nasional adalah sekitar 11.000 kWh per tahun). Jika demikian, klik panah kiri untuk kembali ke halaman "Info Sistem", dan masukkan angka yang lebih tinggi untuk "Ukuran Sistem DC". Klik panah kanan lagi untuk hasil Anda. Ulangi sesuai kebutuhan sampai Anda mencapai angka ajaib.

Ini dengan asumsi tujuan Anda adalah untuk menutupi total penggunaan listrik tahun tertentu dengan daya PV. Anda tentu dapat memilih untuk mencakup lebih atau kurang dari itu, tetapi ada beberapa pertimbangan penting dengan salah satu rute. Jika Anda menggunakan sistem yang lebih kecil yang menghasilkan lebih sedikit daripada penggunaan Anda secara keseluruhan, perbedaannya (untuk sistem yang terikat jaringan) akan dibuat oleh daya utilitas. Ini saja tidak masalah; pada kenyataannya, semua sistem yang terikat jaringan menarik dan mematikan daya utilitas sepanjang tahun dan bahkan hampir sepanjang hari dalam setahun. Namun perlu diingat bahwa semakin banyak daya utilitas yang Anda gunakan, semakin Anda akan terpengaruh oleh kenaikan tarif selama bertahun-tahun.

Jika Anda memilih untuk memasang sistem yang lebih besar yang menghasilkan lebih banyak daya daripada yang mungkin Anda gunakan, ketahuilah bahwa utilitas biasanya membatasi jumlah kelebihan daya yang dapat dihasilkan oleh sistem PV perumahan. Misalnya, Anda mungkin dibatasi hingga 120% dari penggunaan tahunan Anda. Jadi jika konsumsi rumah tangga tahunan Anda adalah 10.000 kWh, Anda tidak dapat memasang sistem yang mampu menghasilkan lebih dari 12.000 kWh per tahun. (Utilitas dipaksa untuk bermain baik dengan produsen energi terbarukan, tetapi mereka tidak harus sebaik itu.)

Berikut pertimbangan lain dengan sistem besar: Jangan berasumsi bahwa Anda akan mendapatkan nilai eceran penuh untuk kelebihan daya yang Anda jual kembali ke utilitas. Faktanya, lebih aman untuk berasumsi bahwa Anda akan mendapatkan lebih sedikit. Misalnya, Anda mungkin membayar utilitas Rp 1.500/kWh untuk listrik jaringan, tetapi utilitas mungkin hanya membayar Anda Rp 750/kWh untuk listrik yang dihasilkan oleh tenaga surya. Dan, karena program penetapan harga dikendalikan oleh utilitas, tidak ada jaminan bahwa Anda akan mendapatkan harga yang sama (atau pengembalian sama sekali) tanpa batas waktu. Tarif, aturan, dan regulasi pembelian kembali, yang sering secara umum disebut sebagai pengukuran bersih, menjadi bahan diskusi berkelanjutan di antara konsumen, utilitas, dan komisi regulasi di seluruh Amerika Serikat.

## **2.8 SALJU, ANGIN, DAN BAYANGAN**

Merancang apa pun untuk alam bebas datang dengan tantangan khusus. Dalam kasus sistem PV, pabrikan telah menghilangkan sebagian besar masalah yang biasa dihadapi dengan membuat modul mereka dan komponen terbuka lainnya menjadi tangguh dan sangat tahan cuaca. Jadi Anda tidak perlu khawatir tentang hal-hal seperti hujan, hujan es, dan tentu saja paparan sinar matahari. Tetapi salju, angin, dan bayangan adalah faktor spesifik lokasi yang harus dipertimbangkan.

### **Salju dan Pencairan Salju**

Modul PV tidak menghasilkan listrik saat tertutup salju. Namun, ini adalah masalah kecil di sebagian besar iklim bersalju. Untuk satu hal, saat turun salju, cuaca juga sangat berawan, sehingga modul tidak akan menghasilkan banyak daya bahkan tanpa selimut salju. Saat matahari terbit, lapisan salju pada susunan surya cenderung mencair relatif cepat karena modul memanaskan dengan radiasi matahari. Jika Anda ingin mempercepat proses dengan membersihkan sebagian dari salju, gunakan sapu atau pel bergagang kayu yang tidak akan

menggores kaca modul. Pegangan kayu adalah untuk keamanan listrik. Jangan gunakan sekop, yang dapat merusak modul. Jika tidak, tunggu saja matahari untuk merawatnya.

Jika Anda memiliki susunan ground-mount, Anda tidak ingin salju atau drift menutupi atau menaungi modul Anda. Cukup instal susunan Anda sehingga tepi bawah lebih tinggi dari level salju biasa. Jika Anda mendapatkan salju yang sangat lebat atau melayang, Anda dapat menyekop salju tanah dan menghapus modul. Sistem atap memerlukan beberapa pertimbangan khusus. Yang pertama adalah berat badan. Struktur pemasangan atap dan modul Anda harus mampu menopang beban ekstra berat salju (diukur dalam pound per kaki persegi) di area Anda. Anda dapat mempelajari tentang beban salju dari departemen bangunan setempat, dan itu pasti akan menjadi bagian dari desain dan persetujuan izin Anda.

Pertimbangan kedua adalah longsor salju. Array PV pada dasarnya adalah panel kaca yang besar dan halus. Selimut salju yang tebal dapat kehilangan cengkeramannya saat mencair, dan semuanya meluncur ke bawah sekaligus, jatuh ke geladak, atap, jalan setapak, atau apa pun yang mungkin menunggu dengan polos di bawah. Cara standar untuk meminimalkan risiko ini adalah dengan menjaga tepi bawah susunan 2 kaki atau lebih di atas tepi bawah atap. Mintalah rekomendasi khusus dari departemen bangunan setempat. Selain itu, Anda dapat memasang pelindung salju di sepanjang atap untuk memecah salju setelah salju terlepas dari modul.

### **Peringkat STC**

Peringkat modul PV mengacu pada kinerjanya di bawah kondisi pengujian standar (STC). Ini pada dasarnya adalah tes jarak tempuh mobil untuk panel surya (seperti yang Anda duga, jarak tempuh sebenarnya dapat bervariasi). Modul membawa papan nama yang mencantumkan beberapa kriteria STC, seperti tegangan, arus, dan watt. Anda akan mengacu pada beberapa nilai papan nama ini saat memilih modul dan peralatan lainnya selama fase desain. Sistem dasar didasarkan pada peringkat STC, tetapi Anda juga akan melakukan beberapa perhitungan menggunakan nilai "ekstrim" (non-STC). Bagi mereka yang tertarik dengan data ilmiah di balik STC, kondisi pengujian untuk mengukur kinerja modul PV adalah sebagai berikut:

- Penyinaran matahari (1.000 watt energi matahari per meter persegi; 1.000 W/m<sup>2</sup>)
- Suhu (25 °C/77 °F)
- Spektrum matahari (AM1.5 Global)

### **Merencanakan Angin**

Angin adalah beban desain standar yang ditetapkan oleh otoritas bangunan setempat. Baik Anda memasang sistem atap atau membangun sistem pendukung untuk pemasangan di tanah, departemen bangunan akan memastikan rencana Anda mencakup kekuatan struktural yang cukup untuk menahan gaya angin di lokasi Anda. Ikuti spesifikasi ini untuk surat itu; Anda dapat membayangkan apa yang mungkin terjadi ketika susunan seperti layar tidak diamankan dengan benar. Angin adalah alasan mengapa modul atap dijaga setidaknya 5 hingga 10 inci dari puncak atap dan semua tepinya, dan mengapa struktur pemasangan di tanah berlabuh di beton atau fondasi lain yang sama amannya. Catatan: Departemen bangunan setempat mungkin memerlukan surat dengan stempel insinyur yang memverifikasi bahwa desain PV Anda (dan atap) memenuhi persyaratan setempat untuk beban angin dan salju.

### Naungan Penting

Naungan memiliki efek majemuk pada output modul PV. Jika sehelai daun jatuh ke modul, menaungi bahkan satu sel, output listrik dari sel itu berkurang secara proporsional dengan jumlah naungan. Dan karena sel-sel dihubungkan bersama secara seri, semua sel lain dalam modul itu outputnya dikurangi sama dengan pengurangan sel yang diarsir, menurunkan output seluruh modul.

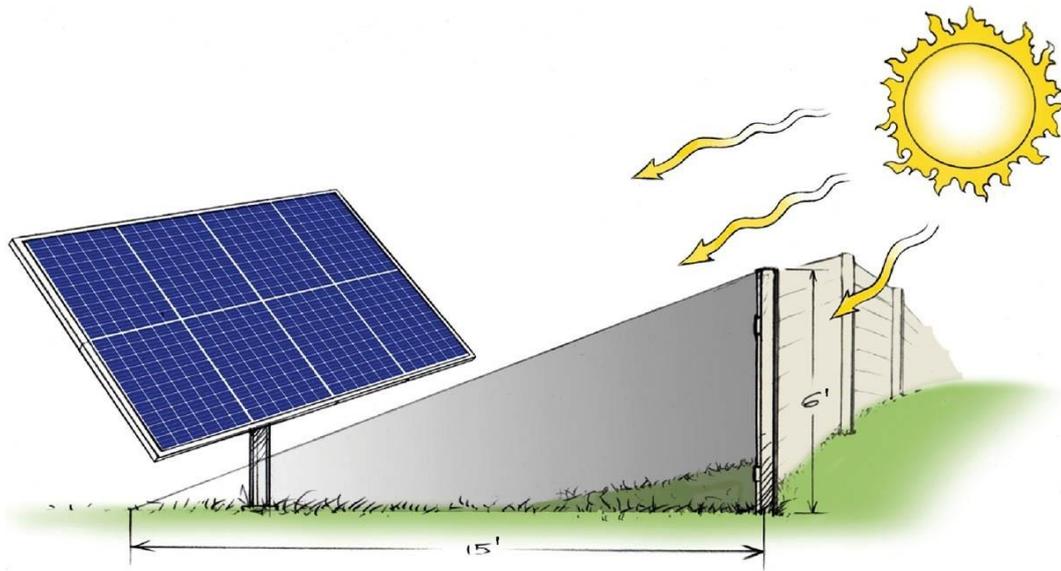
Jika sistem memiliki pengaturan string-inverter tradisional, masalahnya menjadi lebih buruk. Inverter string memperlakukan string modul sebagai unit tunggal, bukan sebagai modul individual. Oleh karena itu, bayangan dari satu modul menghasilkan penurunan versi untuk seluruh string, yang mungkin mencapai setengah dari array Anda. Inverter string yang lebih baru memiliki elektronik yang mengurangi kehilangan bayangan. Selain itu, sebagian besar modul sekarang disambungkan dengan dioda bypass, yang melewati sel (atau modul) yang diarsir, memungkinkan sisa string untuk berperilaku normal.

Microinverter memperlakukan modul secara individual, karena setiap modul (atau pasangan modul) memiliki mikroinverternya sendiri. Ini membatasi efek bayangan ke satu modul. Meski begitu, jika dahan pohon atau cerobong asap membuat bayangan di beberapa modul, kerugian produksi bertambah. Intinya adalah, naungan tidak bagus, jadi penting untuk memasang modul di area dengan naungan minimal.

Jadi, bagaimana Anda tahu kapan hambatan akan menaungi area array/instalasi Anda? Terapkan aturan 2 1/2 kali: Panjang bayangan bisa 2 1/2 kali tinggi penghalang (saat matahari berada pada posisi terendah di langit). Misalnya, pohon setinggi 20 kaki dapat menghasilkan bayangan hingga panjang 50 kaki, tergantung pada posisi matahari di langit. (Bayangan terpanjang di belahan bumi utara terjadi pada titik balik matahari musim dingin, antara 20 dan 23 Desember.) Dengan susunan atap, Anda hanya perlu memperhatikan ketinggian relatif pohon, yaitu bagian pohon yang memanjang di atas tingkat atap. Dengan array ground-mount, Anda perlu mempertimbangkan ketinggian penuh pohon, dikurangi jarak array di atas tanah. Selain itu, dengan larik ground-mount dengan banyak baris, Anda harus memberi spasi pada baris agar tidak saling menaungi.

Cara termudah untuk menilai potensi bayangan di situs Anda adalah dengan mata Anda: periksa area pemasangan pada waktu yang berbeda sepanjang hari (dan sepanjang musim, jika mungkin) untuk melihat apakah, kapan, dan di mana bayangan muncul. Menggabungkan inspeksi visual dan aturan 2 1/2 kali sudah cukup untuk sebagian besar situasi. Untuk penilaian yang lebih rinci, beberapa ahli surya menggunakan Solar Pathfinder, instrumen sederhana namun mahal yang dipasang di lokasi dan menyediakan data tentang paparan sinar matahari sepanjang tahun dan potensi naungan. Jika Anda memilih rute ini, mungkin yang terbaik adalah meminta seorang ahli melakukannya untuk Anda. Unit Solar Pathfinder berharga sekitar \$300, dan sementara beberapa pemasang bersumpah, yang lain menganggapnya terlalu rewel atau sulit digunakan dan tidak sepadan dengan masalahnya.

## Hambatan



**Gambar 2.6** Rintangan dapat menimbulkan bayangan 2 1/2 kali tingginya saat matahari rendah di langit. Semakin tinggi sudut matahari, semakin pendek bayangannya.

## BAB 3

### MEMILIH PERANGKAT KERAS PV

#### 3.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

Belanja untuk peralatan PV benar-benar wilayah asing bagi kebanyakan orang. Ada banyak data teknis (belum lagi obrolan geek) yang tersedia bagi mereka yang tertarik, tetapi bagi orang lain ini bisa sedikit berlebihan. Jika Anda berada di kubu terakhir, yakinlah bahwa sebagian besar pengambilan keputusan serupa dengan pembelian rumah tangga besar mana pun, di mana Anda membandingkan produk untuk kesesuaian, kinerja, nilai, dan di atas semua itu, kualitas dan keandalan pabrikan. Anda juga akan senang mengetahui bahwa sebagian besar keputusan pembelian Anda hanya melibatkan tiga komponen utama: modul PV, struktur pemasangan modul, dan inverter DC-AC. Suku cadang lainnya yang diperlukan untuk pemasangan, seperti bahan listrik dan konstruksi dasar, relatif umum dan dapat dibeli secara lokal (lihat Bahan Lokal).

Pada tahap proyek ini, Anda baru belajar tentang kategori dan spesifikasi produk dan melakukan beberapa window shopping online. Karena spesifikasi komponen harus tepat untuk desain Anda, Anda tidak akan menyelesaikan pilihan produk Anda sampai desain sistem selesai (kita akan membahasnya di bab 4).



**Gambar 3.1** *Gadget holder*

#### 3.2 MODUL

Modul adalah jantung dari sistem PV dan mewakili biaya peralatan terbesar, setidaknya untuk sistem yang terhubung ke jaringan (baterai untuk sistem di luar jaringan bisa sama mahalannya). Kabar baiknya adalah ada banyak, banyak pilihan untuk dipilih, dan modul saat ini mencuri perhatian dibandingkan dengan produk dari kurang dari satu dekade lalu. (Tetangga Anda yang menggunakan solar sekitar 10 tahun yang lalu akan senang mendengar bahwa panel Anda berharga sekitar 75% lebih murah daripada panel mereka.) Berikut ini adalah faktor utama yang perlu dipertimbangkan saat memilih modul.

## Pertunjukan

Intinya untuk kinerja modul PV adalah output daya. Output sama dengan produksi listrik dan dinilai dalam watt. Modul dengan daya 250 watt mampu menghasilkan 250 watt listrik DC pada kondisi pengujian standar (lihat Peringkat STC). Ada beberapa peringkat tambahan yang menjelaskan lebih banyak tentang peringkat keluaran yang dinyatakan oleh pabrikan:

- Toleransi daya adalah peringkat yang memberikan kisaran seberapa dekat kinerja modul dengan nilai pengenalnya di bawah STC. Toleransi daya  $\pm 5\%$  berarti modul dapat bekerja 5% di atas atau di bawah peringkat STC-nya; misalnya, modul 300 watt sebenarnya dapat menghasilkan nilai maksimum yang rendah sebesar 285 watt. Modul dengan peringkat "hanya positif" dinilai berkinerja pada atau lebih baik dari peringkat STC mereka.
- Peringkat PTC mirip dengan STC tetapi didasarkan pada serangkaian kondisi yang lebih realistis, sebagaimana ditentukan oleh fasilitas uji Photovoltaics for Utility Systems Applications (PVUSA), yang didanai oleh Departemen Energi di dekat Sacramento, California. Kondisi pengujian PVUSA (PTC) menggunakan suhu sel yang lebih tinggi (113°F untuk PTC dibandingkan dengan 77°F untuk STC). Karena sel kristal-silikon kurang produktif pada suhu yang lebih tinggi, peringkat PTC lebih rendah dari peringkat STC — biasanya 8% hingga 10% lebih rendah. Anda mungkin menemukan bahwa peringkat PTC modul diberikan sebagai rasio: "PTC/STC." Dalam hal ini, semakin tinggi angkanya, semakin baik. Misalnya, modul 250 watt (STC) dengan rasio 0,9 PTC/STC memiliki peringkat PTC 225 watt ( $250 \times 0,9 = 225$ ). Modul 250 watt lainnya dengan rasio 0,85 PTC/STC hanya dapat menghasilkan 212,5 watt ( $250 \times 0,85 = 212,5$ ). Ingatlah bahwa desain sistem PV didasarkan pada peringkat STC, bukan PTC. STC memberi Anda output setinggi mungkin, yang diperlukan untuk mengukur inverter, kabel, dan komponen lainnya. Situs web GoSolar California menyimpan daftar lebih dari 1.600 model modul PV dan peringkat PTC-nya.

Semua itu dikatakan, jangan terlalu terpaku pada peringkat. Anda akan menggunakan peringkat papan nama modul Anda untuk merancang sistem PV Anda, tetapi output aktual setiap hari, bulanan, dan tahunan terutama akan bergantung pada kondisi cuaca seperti sinar matahari, suhu, dan curah hujan. Apa yang dilakukan modul di laboratorium (di bawah STC) penting untuk merancang dan memprediksi keluaran sistem, tetapi begitu sistem Anda berada di tempatnya, jangan lewatkan waktu untuk tidur.

## Produsen, Garansi, dan Sertifikasi

Modul PV biasanya dijamin secara terpisah untuk bahan dan output daya. Standar untuk modul kualitas adalah 10 tahun untuk bahan dan 25 tahun untuk keluaran daya. Jika produsen menawarkan sesuatu yang kurang, cari modul lain. Jaminan untuk keluaran daya biasanya menyatakan bahwa modul akan kehilangan tidak lebih dari 15%–20% dari keluaran terukurnya selama masa garansi. Misalnya, jika nilai keluaran STC modul adalah 300 watt, modul tersebut harus mampu menghasilkan setidaknya 240 watt setelah 25 tahun. Tetapi

seperti yang dicatat dalam Efisiensi Sel (kanan), modul kristal-silikon biasanya hanya kehilangan sekitar 0,1% dari outputnya per tahun, atau total 2,5% selama 25 tahun.

Mungkin yang lebih penting dari garansi adalah stabilitas perusahaan di balik garansi. Jika perusahaan mengalami masalah selama masa garansi Anda, itu mungkin akhir dari garansi Anda, meskipun beberapa produsen menawarkan garansi yang tidak dapat dibatalkan yang didukung oleh polis asuransi. Sisi baiknya, modul PV yang dibuat dengan baik sangat andal, banyak pengguna awal masih menggunakan modul yang berasal dari tahun 1970-an, bukti bahwa modul dapat bertahan lebih lama dari garansi 25 tahun.

Produsen terbaik mengontrol produksi produk mereka dari awal hingga akhir untuk memastikan standar kualitas. Mereka juga berinvestasi dalam penelitian dan pengembangan dan memiliki reputasi lama untuk dijunjung tinggi. Di ujung lain spektrum adalah banyak perusahaan yang relatif baru yang lebih banyak merakit modul daripada produsen. Mereka mungkin menggunakan suku cadang dari berbagai pemasok dan hanya memiliki kendali terbatas atas kualitas.

Setiap modul yang Anda pertimbangkan harus memiliki sertifikasi UL 1703 dari Underwriters Laboratories. Papan namanya harus mencantumkan stempel UL dan/atau stempel International Electrotechnical Commission (IEC). Departemen bangunan lokal mungkin memerlukan sertifikasi tambahan. Sertifikasi biasanya dicatat pada lembar spesifikasi modul; jika tidak, lihat di situs web produsen.

### **3.3 EFISIENSI SEL SURYA**

Satu istilah yang sering Anda dengar saat berbelanja modul PV adalah efisiensi. Dalam hal ini, efisiensi mengacu pada persentase radiasi matahari yang diubah menjadi listrik oleh sel surya. Modul PV kristal-silikon standar menawarkan efisiensi antara 15% dan 20%. Secara umum, modul terbaik menawarkan efisiensi tertinggi, tetapi banyak produk bagus dengan harga terjangkau berada di ujung bawah kisaran efisiensi. (Catatan: Meskipun jumlahnya serupa, efisiensi modul tidak sama dengan nilai kerugian sistem secara keseluruhan yang Anda masukkan ke PVWatt di bab 2.)

Sangat mudah untuk terjebak dalam peringkat efisiensi, tetapi itu tidak sepadan dengan masalahnya. Untuk satu hal, sulit untuk secara tepat menghitung efisiensi sel dalam penggunaan praktis, jadi poin persentase di sini atau tidak ada sesuatu yang menjadi dasar anggaran Anda. Dan kedua, hanya karena sebuah modul tidak dapat menggunakan 85% energi yang menyerang, bukan berarti energi tersebut terbuang percuma. Energi surya benar-benar gratis dan tidak ada habisnya. Anda tidak bisa menyia-nyiakannya. Itu membuat skenario yang sama sekali berbeda dari, katakanlah, pemanas air gas 90% efisien, yang membuang 10% gas yang terbakar karena kehilangan panas. Anda membayar untuk gas itu, dan ada biaya lingkungan untuk menggunakannya. Tidak demikian dengan energi matahari.

Efisiensi sel surya menurun seiring waktu, tergantung pada bahan fotovoltaik, yang berarti modul menghasilkan lebih sedikit listrik seiring bertambahnya usia. Sebagian besar jaminan modul didasarkan pada ini. Garansi tipikal mungkin menjamin hilangnya efisiensi tidak lebih dari 15%–20% selama 25 tahun. Namun, ini adalah margin keamanan yang sangat

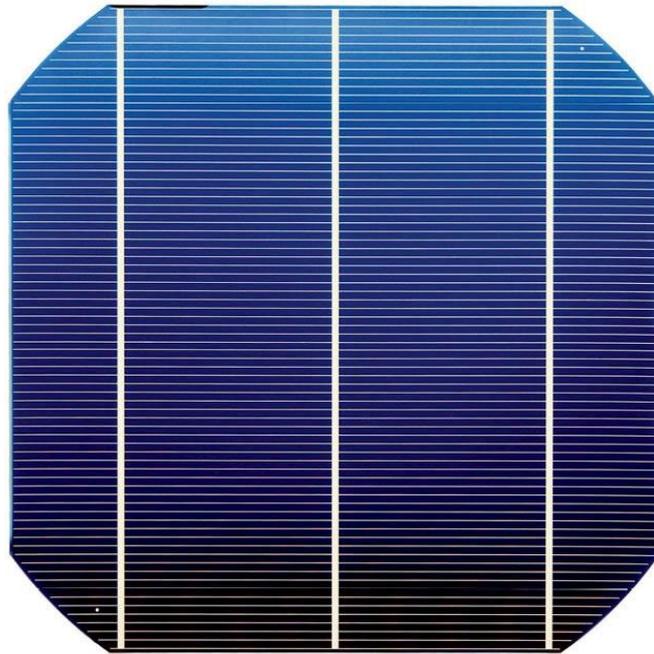
lebar bagi pabrikan. Pada kenyataannya, modul kristal-silikon berkualitas kehilangan efisiensi hanya sekitar 0,1% per tahun.

### **Monokristalin atau Polikristalin?**

Modul silikon kristal konvensional (c-Si; kadang disebut x-Si) dibuat dengan salah satu dari dua jenis silikon: monokristalin atau polikristalin. Sementara kinerja dan biaya kedua jenis modul sebagian besar telah disamakan selama bertahun-tahun, Anda masih harus memilih di antara keduanya. Berikut adalah sorotannya:

#### ***Sel monokristalin***

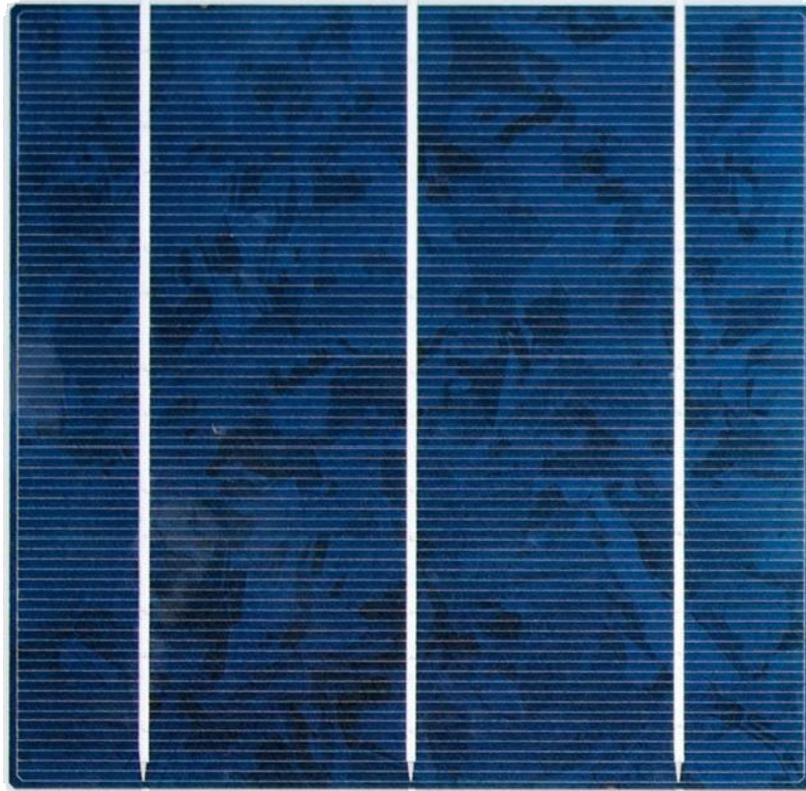
- Biasanya menawarkan efisiensi yang sedikit lebih tinggi, terkadang menghasilkan modul yang sedikit lebih kecil dengan output yang setara.
- Biasanya memiliki sudut miring karena proses manufaktur. Memiliki pewarnaan gelap yang konsisten.
- Biaya lebih historis, tetapi harga sekarang sebanding.



**Gambar 3.2** Silikon monokristalin

#### ***Sel Polikristalin***

- Memiliki sudut persegi; ini berarti bahwa lebih banyak area modul ditutupi dengan bahan sel, yang membantu melawan efisiensi yang lebih rendah.
- Seringkali memiliki warna biru dan penampilan belang-belang.
- Biasanya memiliki "P" di nomor modelnya untuk menunjukkan polikristalin.



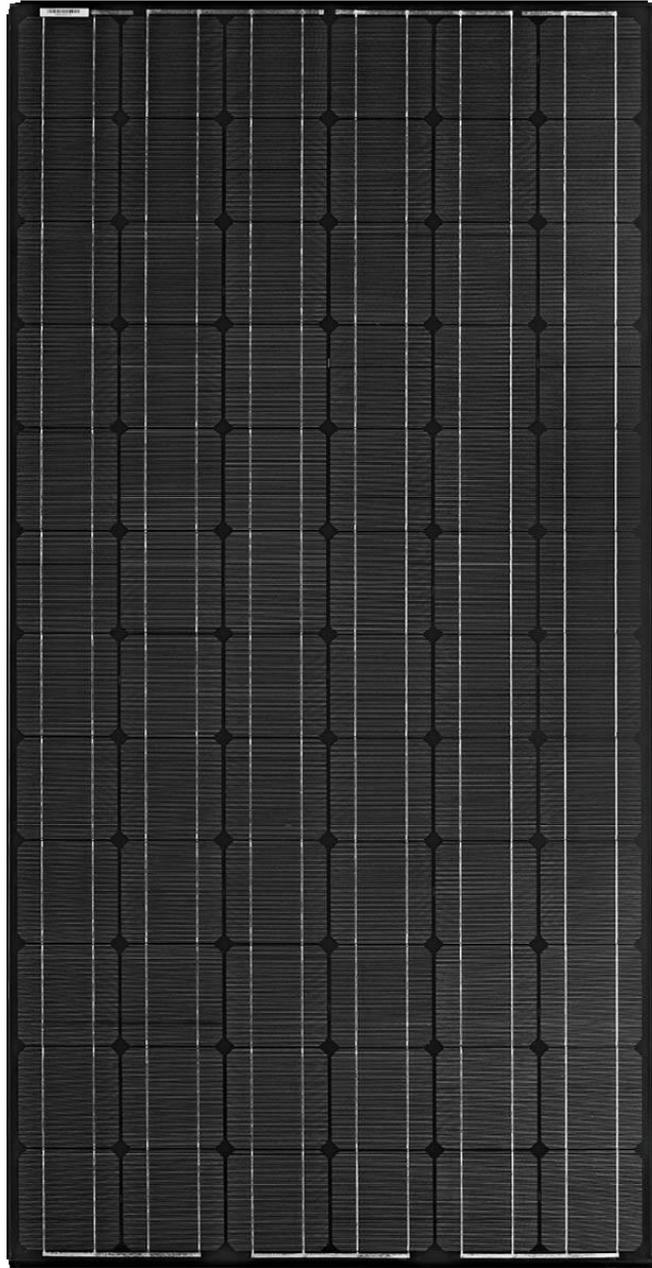
**Gambar 3.3** Silikon polikristalin

### **Ukuran**

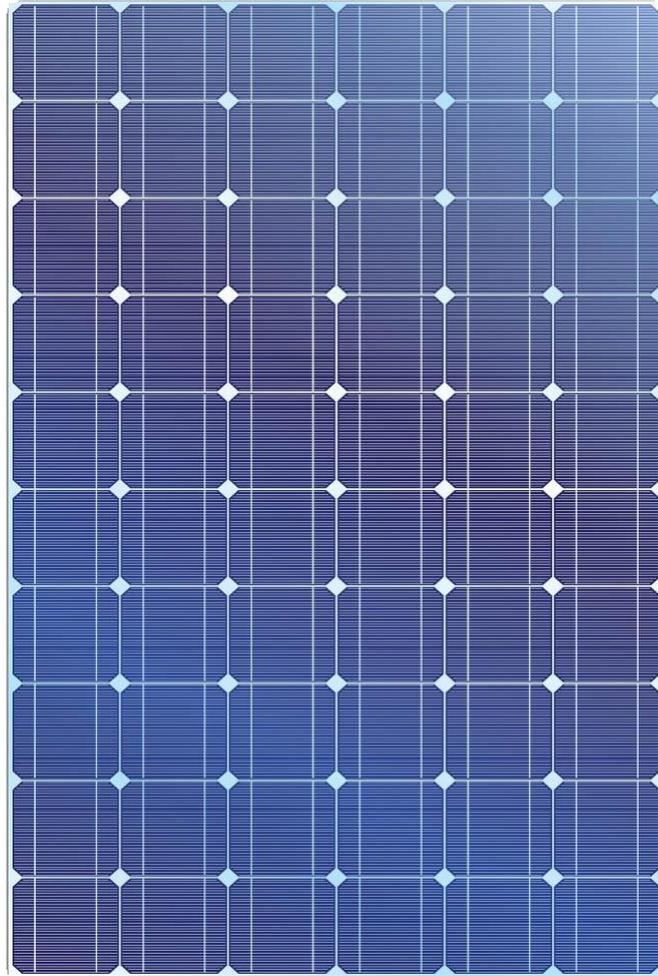
Ukuran modul biasanya disertai dengan trade-off. Modul yang lebih besar mungkin memiliki output yang lebih tinggi, tetapi juga lebih berat dan lebih mahal, dan tentu saja membutuhkan lebih banyak ruang daripada modul yang lebih kecil. Di sisi lain, output yang lebih tinggi mungkin berarti Anda dapat menggunakan lebih sedikit modul: jika Anda membutuhkan sistem 3 kW, Anda dapat menggunakan 10 modul masing-masing 300 watt dibandingkan dengan 12 modul masing-masing 250 watt, asalkan situs Anda dapat menampung unit yang lebih besar atau Anda mungkin memiliki area atap kecil yang dapat menampung dua modul besar tetapi tidak tiga modul yang lebih kecil. Lembar spesifikasi pabrikan memberikan dimensi yang akurat untuk modul, tetapi lebar modul standar adalah sekitar 39 inci; Modul 60-sel biasanya panjangnya sekitar 65 inci, dan modul 72-sel panjangnya sekitar 77 inci.

### **Warna**

Modul standar memiliki bingkai aluminium keperakan dan bahan pendukung putih, atau lembaran belakang. Juga tersedia unit dengan bingkai hitam dan sprengi belakang putih, atau unit serba hitam dengan bingkai hitam dan sprengi belakang hitam, yang mungkin Anda bayar dengan sedikit mahal. Warna hitam dapat berbaur lebih baik di beberapa atap. Warna terutama merupakan pertimbangan estetika dan memiliki sedikit pengaruh pada kinerja modul, kecuali bahwa modul dengan lembaran belakang hitam dapat berjalan beberapa derajat lebih hangat, sedikit mengurangi efisiensi modul.



**Gambar 3.4** Modul PV serba hitam



**Gambar 3.5** Modul PV standar dengan bingkai aluminium dan lembaran belakang putih

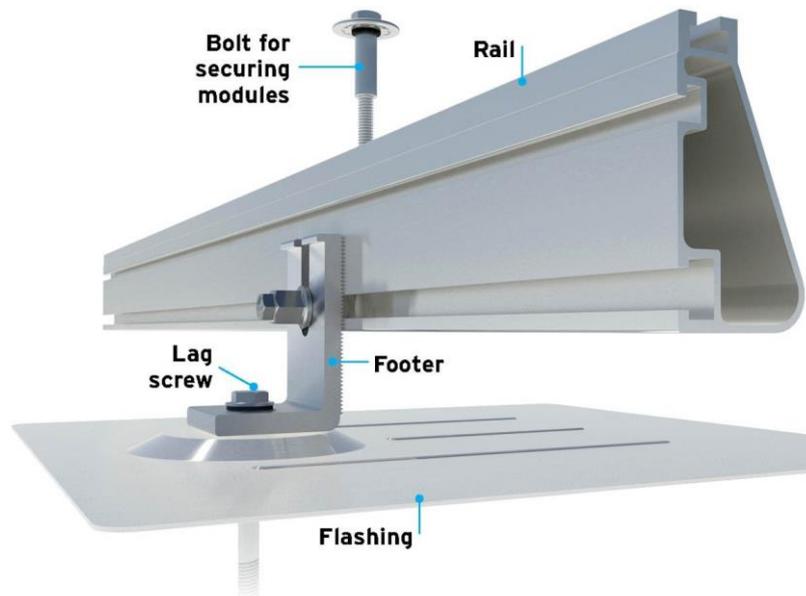
### Harga

Harga berbicara untuk dirinya sendiri, tetapi seperti yang mungkin sudah Anda duga, bukanlah ide yang baik untuk memilih modul berdasarkan harga saja. Setelah Anda menentukan kecocokan untuk sistem dan anggaran Anda, Anda dapat memeriksa opsi untuk harga terbaik. Misalnya, terkadang Anda dapat menghemat dengan membeli seluruh palet modul, yang dapat mengurangi biaya pengiriman dan/atau harga per modul. Ini bekerja dengan baik jika jumlah palet sesuai dengan yang Anda butuhkan atau jika Anda dapat masuk dengan teman atau tetangga dan berbagi modul dari palet besar. Beberapa vendor memberikan nilai Rp/watt (harga per watt), yang berguna untuk membandingkan modul. Ini dapat dihitung dengan membagi harga modul dengan output daya papan namanya. Misalnya, modul 250 watt dengan harga Rp 3.750.000 berharga Rp 15.000/watt.

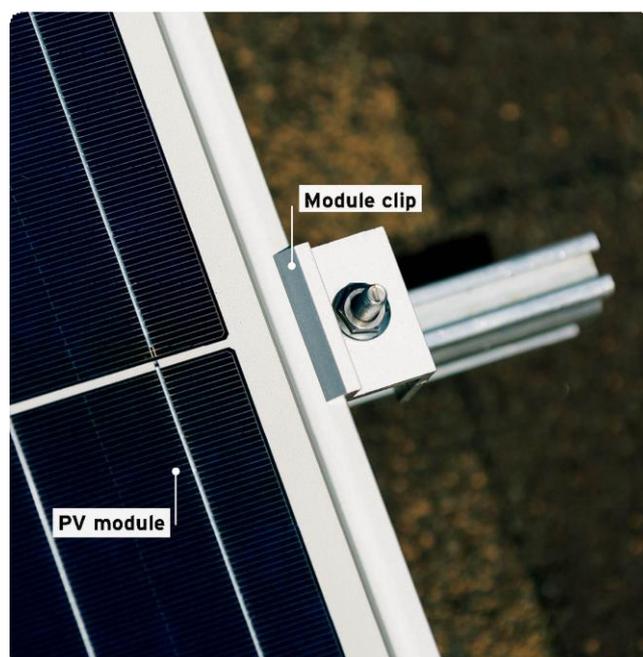
### 3.4 STRUKTUR PENDUKUNG MODUL

Sistem pendukung untuk susunan PV adalah struktur logam yang menahan modul, biasanya pada bidang datar, dan menambatkan susunan ke atap atau tanah. Opsi sistem didasarkan pada kemiringan atap (dan bahan atap) atau desain pemasangan di tanah. Atap datar biasanya menggunakan sistem yang diamankan dengan beban (disebut pemberat), bukan sekrup atau jangkar lainnya.

Spesifikasi struktur pemasangan diperlukan untuk sebagian besar izin pemasangan PV. Ini memastikan bahwa sistem cocok untuk kondisi di daerah Anda beban salju, angin, udara pantai, kondisi tanah (untuk ground-mount), dan sebagainya. Pemasok peralatan PV yang berpengalaman dapat merekomendasikan peringkat produk untuk iklim Anda, atau Anda bisa mendapatkan spesifikasi yang diperlukan dari departemen bangunan setempat. Anda juga harus memastikan bahwa atap Anda dapat menopang berat rak dan modul. Ini mungkin melibatkan hanya menjawab beberapa pertanyaan pada aplikasi izin Anda, atau mungkin memerlukan pemeriksaan dan persetujuan oleh seorang insinyur. Ingatlah bahwa modul dan rak konvensional biasanya menambah beban berat 3 hingga 5 pon per kaki persegi.



**Gambar 3.6** Footer, flashing, dan sekrup harus disegel dengan sealant atap untuk mencegah kebocoran.



**Gambar 3.7** Modul PV dan Clip

### 3.5 RACKING UNTUK ATAP MIRING

Penopang modul untuk atap biasa disebut racking. Gaya rak standar untuk atap miring adalah sistem pemasangan rata dengan rel horizontal yang menopang dan mengamankan modul di atas dan dipasang ke atap di bawah dengan braket tugas berat, yang sering disebut footer. Footer ditambatkan ke kasau atau rangka rangka atap dengan sekrup lag. Pada atap sirap, setiap footer digabungkan dengan sepotong logam yang berkedip untuk membantu mencegah kebocoran dan kerusakan pada bahan atap. Beberapa footer dilengkapi dengan flashing terintegrasi. Karena modul kristal-silikon kehilangan efisiensi pada suhu yang lebih tinggi, semua susunan PV flush-mount dinaikkan beberapa inci di atas atap untuk menyediakan aliran udara pendinginan di bawah modul (lihat *Critter-Proof Your Array*, sebaliknya).

Rel bervariasi dalam ukuran dan kekuatan agar sesuai dengan iklim yang berbeda dan berbagai kondisi salju dan angin. Rel kelas menengah cocok untuk sebagian besar iklim, tetapi sekali lagi, ini tunduk pada kode lokal. Tidak apa-apa untuk menggunakan rel tugas yang lebih berat daripada yang dibutuhkan untuk wilayah Anda, tetapi ini menambah biaya yang tidak perlu. Menggunakan rel berukuran kecil tidak mungkin. Rel biasanya tersedia dalam panjang 10 kaki dan lebih panjang dan diikat bersama dengan alat kelengkapan logam khusus yang disebut splices untuk membuat baris kontinu yang panjang. Jenis lain dari sistem rak adalah gaya tanpa rel, yang mencakup footer khusus tetapi tanpa rel. Dengan beberapa sistem, modul diamankan ke footer di setiap sudut. Dengan yang lain, modul dihubungkan bersama dengan braket khusus atau perangkat penyambungan yang dibaut ke bingkai modul; modul bergabung membentuk unit kaku yang membentang di footer.

Sisi baiknya, sistem tanpa rel menggunakan lebih sedikit material daripada rak bergaya rel konvensional, sehingga mengurangi biaya pengiriman dan sistem secara keseluruhan. Pabrikan sering mengklaim bahwa sistem tanpa rel dipasang lebih cepat juga, tetapi manfaat ini datang dengan pengalaman, dan kurva pembelajaran pada rak tanpa rel bisa relatif curam. Sistem tanpa rel juga dapat memiliki tampilan yang lebih ramping, karena tidak ada rel yang terlihat di bagian bawah atau ujung rangkaian.

Di sisi bawah, racking tanpa rel kurang universal daripada sistem rel. Dalam beberapa kasus, modul memerlukan pbingkai khusus untuk bekerja dengan rak tanpa rel. Memasang sistem tanpa rel untuk pertama kalinya mungkin rumit, menambah waktu untuk proyek. Pemasangan juga memerlukan perataan footer individu alih-alih meratakan beberapa rel panjang. Akhirnya, sementara sistem tanpa rel suatu hari nanti mungkin menjadi standar, mereka masih merupakan pendatang baru di industri ini. Garansi modul, persyaratan kode, dan spesifikasi desain biasanya mengasumsikan sistem pemasangan di rel, jadi jika Anda menggunakan rel, pastikan sistem Anda sepenuhnya sesuai dan tercakup, dan diizinkan oleh otoritas bangunan setempat.

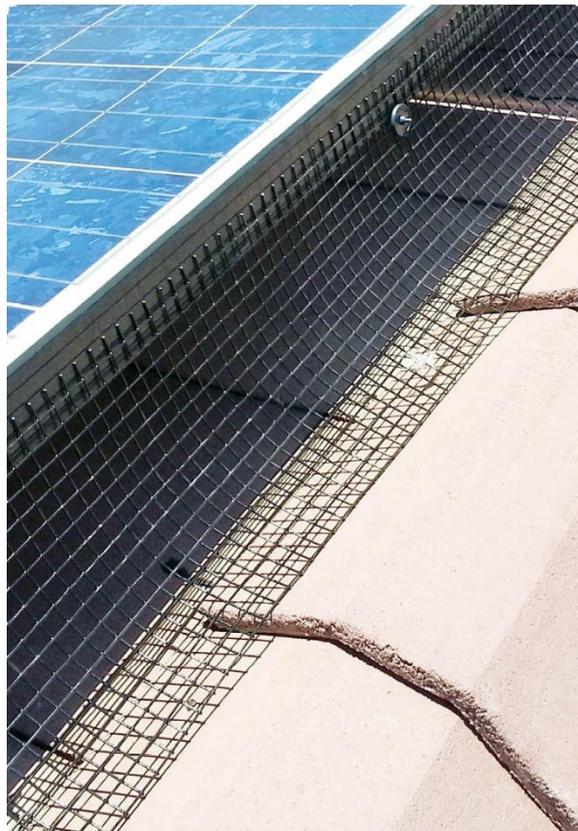


**Gambar 3.8** Pemasangan di atap dan skirting dipasang untuk sistem pemasangan tanpa rel. Skirting bersifat opsional dan memberikan tampilan akhir ke bagian larik yang paling terlihat.

### Critter-Bukti Array

Ruang terlindung di antara atap dan modul PV Anda dapat menjadi galeri kacang bagi tupai dan sumur neerdo atap lainnya. Hewan diketahui mengunyah kabel, menyebabkan kegagalan listrik. Jauhkan mereka dengan sistem penyaringan sederhana yang tersedia dari produsen rak. Bahan layar dapat dipangkas agar sesuai dengan ruang Anda dan dipasang dengan sistem klip sederhana.

Sistem layar juga digunakan untuk susunan ground-mount dan diperlukan untuk beberapa instalasi. Dalam kasus seperti itu, layar fleksibel yang membentang dari tanah ke modul dapat dipasang setelah perakitan array selesai.



**Gambar 3.9** Sistem penyaringan sederhana

### **Tidak Punya Shingles Aspal?**

Footer racking atap standar dibuat untuk atap sirap aspal (komposit), karena itulah yang dimiliki sebagian besar rumah. Atap batu tulis, genteng (beton atau tanah liat), dan sirap kayu atau goyang memerlukan jangkar khusus yang berfungsi sebagai footer untuk sistem rak konvensional. Ini menambah biaya dan waktu pemasangan, tetapi begitu angkur terpasang, sisa pemasangan PV sama dengan atap sirap aspal. Pastikan jangkar yang Anda pilih kompatibel dengan sistem rak Anda.

Juga periksa dengan produsen jangkar/footer untuk detail pemasangan. Atap kayu relatif mudah untuk memasang susunan, sedangkan atap batu tulis dan genteng lebih menantang, dan Anda dapat menyebabkan banyak kerusakan hanya dengan berada di atas atap, apalagi memotongnya. Jika atap Anda terbuat dari bahan khusus, ada baiknya Anda berkonsultasi dengan ahli atap atau tenaga surya yang berpengalaman dengan bahan tersebut.

Jika Anda adalah pemilik bangga atap logam jahitan berdiri yang sehat, Anda beruntung. Anda dapat menggunakanudukan khusus yang menempel pada jahitan — tidak perlu penetrasi! Dudukan khusus ini, yang disebut klip S-5, diikat ke jahitan berdiri, dan rel dan/atau modul kemudian dipasang ke klip.

### **Membumikan Modul dan Rak Anda**

Rak dan semua modul array PV harus diarde secara elektrik (diikat) dan dihubungkan ke kabel arde yang mengarah ke arde sistem yang berakhir baik di panel servis listrik utama rumah atau ke batang arde yang terkubur di dalam tanah, tergantung pada sistem dan persyaratan kode bangunan lokal. Di masa lalu yang tidak terlalu jauh, modul dan rel rak harus diikat dengan kabel arde tembaga telanjang panjang yang dipasang ke setiap modul dan setiap rel saat meliuk-liuk dari satu ujung susunan ke ujung lainnya. Itu semua berubah beberapa tahun yang lalu dengan munculnya Washer Electrical Equipment Bond (WEEB).

WEEB adalah ring logam datar yang dipasang di antara rel rak dan rangka modul dan diamankan oleh klem tengah atau klem ujung modul. Gigi kecil di sisi bawah WEEB menggigit rel saat klem dikencangkan, menembus lapisan anodized yang diterapkan pabrik (serta lapisan alami aluminium oksida yang terbentuk pada semua aluminium) untuk menciptakan ikatan yang andal. WEEB terdaftar di UL, sehingga sekarang menjadi perangkat pembumian yang diterima secara universal untuk susunan PV. Setiap pasangan modul membutuhkan total dua WEEB. Jika Anda memiliki 10 modul di deretan rak, itu adalah 10 WEEB. Tetapi jika Anda memiliki jumlah modul yang ganjil, Anda memerlukan dua WEEB lagi untuk modul terakhir di akhir baris; misalnya, deretan 11 modul membutuhkan 12 WEEB (Anda akan menghitung berapa banyak yang Anda butuhkan dalam fase desain). Dengan modul yang diikat ke rel menggunakan WEEB, yang harus Anda lakukan hanyalah mengikat semua rel dengan kabel arde tembaga telanjang. Beberapa produsen rak telah mengambil ide WEEB selangkah lebih maju dengan mengintegrasikan gigi logam ke dalam klem modul mereka sehingga Anda tidak memerlukan WEEB terpisah untuk bagian-bagian tersebut.



**Gambar 3.10** WEEB hadir dalam berbagai bentuk dan ukuran untuk bekerja dengan sistem rak dan konfigurasi modul dan penjepit yang berbeda.



**Gambar 3.11** Penjepit tengah modul dengan gigi untuk mengikat modul ke rel (tidak diperlukan WEEB terpisah). Klem tengah mengikat dua bingkai modul sekaligus. Gigi menghadap ke bawah untuk menggigit bingkai logam.

**Catatan:** Beberapa sistem mikroinverter mungkin memerlukan kabel arde kontinu untuk mengikat semua mikroinverter menjadi satu. Ini bisa berupa kabel yang sama yang menghubungkan rel (menggunakan lug arde yang terpasang pada rel). Sistem mikroinverter yang dirancang dengan pembumian terintegrasi mungkin tidak memerlukan kabel pembumian eksternal untuk inverter mikro, tetapi rak masih memerlukan pembumiannya sendiri.

#### **Struktur Pemasangan untuk Atap Datar**

Sistem pemberat, atau pemberat, adalah opsi rak standar untuk rumah dengan atap datar. Ada banyak jenis yang tersedia. Beberapa terdiri dari kurung siku atau palang yang

dibaut bersama untuk menopang modul dan menghubungkan baris satu sama lain (lihat Memasang Sistem Atap Datar). Tipe lain memiliki rel dasar horizontal yang memanjang dari baris ke baris, dengan kaki miring yang menopang modul pada kemiringan yang dirancang. Jenis yang terakhir sering dapat mengakomodasi sudut kemiringan yang lebih besar daripada yang pertama. Sebagian besar sistem dirakit di lokasi dan dibebani dengan balok beton (jenis padat, setebal 1 hingga 2 inci, bukan balok besar dengan lubang untuk dinding bangunan). Pemasangannya sederhana dan mudah, dan karena Anda tidak memasang penahan melalui bahan atap, Anda menghemat semua langkah dan khawatir menyegel penetrasi terhadap kebocoran.



**Gambar 3.12** Sistem atap datar dengan rel dasar horizontal yang dibebani balok beton (ballast)

Rak ballast terbatas pada sudut kemiringan yang relatif rendah, biasanya maksimum 10 hingga 20 derajat. Jika kemiringan yang lebih besar sangat penting, perancang dapat memilih blok pemberat tambahan atau sistem rak berlabuh yang dipasang pada tiang penopang. Ini paling sering digunakan dalam aplikasi komersial dan di mana kemiringan modul yang signifikan diperlukan. Tiang penyangga juga dapat digunakan pada atap “datar” yang memiliki sedikit kemiringan (mungkin 10 hingga 15 derajat). Penahan menawarkan tingkat hambatan angin yang tinggi yang diperlukan untuk modul yang dimiringkan secara curam tetapi membuat pemasangan menjadi jauh lebih rumit, belum lagi risiko kebocoran pada penetrasi. Sistem berlabuh mungkin memerlukan desain dan rekayasa profesional. Sebagian besar sistem ballast dapat mengakomodasi modul PV standar apa pun, tetapi tentu saja Anda harus memastikannya terlebih dahulu. Desain dan pemasangan sistem ballast bersifat spesifik produk. Lihat pabrikan untuk detail pemasangan dan spesifikasi sistem. Array ballast biasanya

memiliki tata letak lanskap karena profilnya yang rendah (lihat Orientasi Modul: Potret atau Lanskap?). Sistem berlabuh dapat menjadi orientasi lanskap atau potret.

### **RACK Miring**

Rak miring kadang-kadang digunakan pada atap dengan kemiringan rendah, atap datar, dan bahkan lereng yang berlawanan (untuk membuat susunan yang menghadap ke selatan di lereng yang menghadap ke utara, misalnya). Kemiringan dimungkinkan dengan rak miring yang tetap atau dapat disetel atau dengan "kaki miring" yang ditambahkan ke footer pemasangan rata standar.

Gagasan di balik kemiringan adalah untuk menempatkan modul pada sudut yang lebih menguntungkan untuk meningkatkan produksi, tetapi pada sebagian besar atap miring, perbedaannya tidak signifikan. Anda dapat dengan mudah menguji ini dengan PVWatt dengan membandingkan hasil dengan kemiringan aktual atap Anda dengan hasil kemiringan yang disesuaikan menggunakan rak miring. Seperti disebutkan dalam bab 2, keuntungan yang Anda capai dalam satu musim (musim panas, misalnya) mungkin diimbangi oleh kerugian di musim yang berlawanan (musim dingin), yang menghasilkan hanya sedikit keuntungan bersih dalam produksi tahunan.

Rak miring mungkin menghadapi batasan khusus dari otoritas bangunan (memiringkan meningkatkan beban angin pada modul, yang bersama-sama bertindak seperti layar besar), papan zonasi, dan asosiasi pemilik rumah (susunan miring memiliki tampilan yang kurang terintegrasi daripada struktur pemasangan rata). Rak yang dapat disesuaikan memungkinkan pemilik untuk mengubah kemiringan sesuai musim, tetapi pengalaman menunjukkan bahwa kebanyakan orang dengan opsi ini tidak mempermasalahkannya setelah satu atau dua tahun pertama.

### **Struktur *Ground-Mount***

Struktur *ground-mount* yang diproduksi mungkin memiliki tampilan industri yang menakutkan, tetapi banyak yang memiliki desain elegan dan sederhana yang sangat cocok untuk instalasi DIY. Hampir semua sistem perumahan terdiri dari kerangka logam tahan korosi yang ditambat ke tanah dengan beton. Struktur *ground-mount* utama mendukung rel modul standar, sehingga pemasangan modul serupa dengan susunan atap, termasuk sistem grounding (lihat *Grounding Modul* dan Racking Anda). Ada dua jenis utama struktur *ground-mount*: standar *ground-mount* dan *pole-mount*.

***Ground-mount standar*** biasanya adalah susunan kemiringan tetap (tidak dapat disesuaikan) yang dapat memiliki beberapa jenis konstruksi yang berbeda. Konstruksi yang paling umum terdiri dari dua baris tiang vertikal, satu baris tiang pendek di depan dan satu baris tiang panjang di belakang, untuk membuat kemiringan. Tiang, biasanya pipa atau kolom buatan yang dikubur dalam beton, menopang kerangka yang menahan susunan. Jenis konstruksi lainnya adalah desain kantilever, dengan penyangga miring yang menggantung dari satu baris tiang vertikal. Pada proyek komersial besar, penopang vertikal dapat berupa tiang pancang (balok atau tiang logam) atau sekrup tanah (seperti sekrup kayu raksasa) yang ditancapkan ke tanah dengan alat berat. Jika Anda merencanakan sistem perumahan yang sangat besar, katakanlah, 20 kW atau lebih sistem dengan tiang pancang layak untuk dilihat, tetapi selain

itu tidak hemat biaya. Oleh karena itu, sebagian besar sistem perumahan menggunakan pilar beton.



**Gambar 3.13** Pemasangan di tanah standar dengan dua baris tiang vertical



**Gambar 3.14** Desain ground-mount standar, tiang tunggal, kantilever

**Tiang gunung** jatuh ke dalam dua subkategori: struktur tiang tunggal dan multi-kutub. Pemasangan tiang tunggal mencakup tiang vertikal tunggal yang menopang kerangka susunan yang dipasang di bagian atas tiang (disebut top-of-pole) atau ke samping tiang (side-of-pole). Dudukan sisi tiang biasanya digunakan untuk susunan kecil yang terdiri dari satu hingga empat modul dan mungkin menawarkan beberapa penyesuaian kemiringan. Dudukan di atas tiang biasanya menangani sekitar 10 hingga 12 modul (sistem besar dapat mendukung hingga 20 modul) dan sangat dapat disesuaikan. Ini adalah tipe yang digunakan jika Anda ingin menyertakan motor pelacak.



**Gambar 3.15** Pemasangan tiang tunggal

**Dudukan multi-kutub** memiliki satu atau lebih baris tiang penyangga vertikal dengan kerangka bagian atas tiang yang menghubungkan penyangga vertikal. Ini mungkin pilihan terbaik jika Anda menginginkan beberapa penyesuaian tetapi tidak akan menggunakan pelacak, dan Anda ingin memiliki susunan yang cukup besar pada satu dudukan; banyak kutub tidak harus sebesar atau terkubur sedalam kutub tunggal. Sebagian besar sistem menawarkan berbagai sudut kemiringan, dan banyak yang dapat disesuaikan dari tanah oleh satu orang (walaupun biasanya lebih mudah dengan dua orang).



**Gambar 3.16** Pemasangan multi-kutub

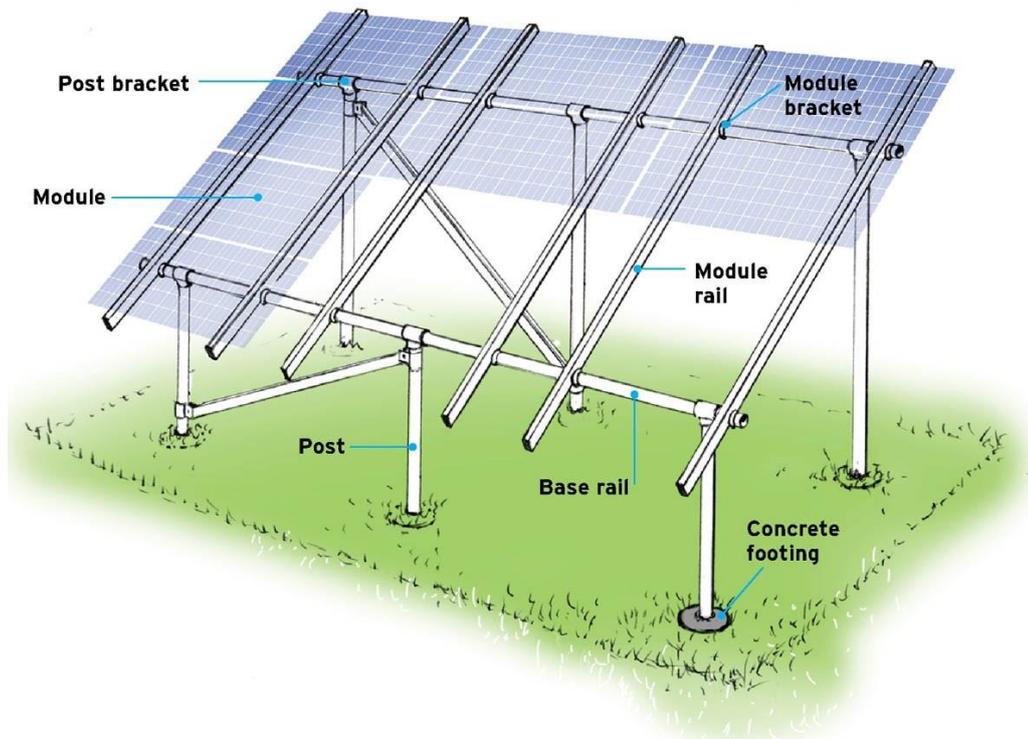
### **Bisakah Saya Membangun Rack Kayu Saya Sendiri?**

Anda mungkin pernah melihat struktur ground-mount kayu DIY secara online atau di tempat lain. Ini mungkin diperbolehkan di wilayah Anda, tetapi kemungkinan membutuhkan cap insinyur; yang menambah waktu dan biaya untuk desain. Dan kayu tidak murah, terutama kayu yang bagus, kokoh, dengan perlakuan tekanan yang perlu bertahan beberapa dekade di luar ruangan. Lalu ada konektor framing, pengencang, dan beton. Dan itu hanya strukturnya; Anda masih membutuhkan rel dan perangkat keras yang diproduksi untuk array. Ketika Anda menambahkan biaya dan kesulitan rak buatan sendiri, sistem ground-mount logam pabrikan mulai terlihat cukup bagus.

### **Desain dan Material Ground-Mount**

Struktur pendukung ground-mount biasanya dirancang khusus untuk setiap proyek. Anda memberi pabrikan atau tenaga surya profesional lokasi Anda (untuk angin, salju, kondisi tanah, dan faktor iklim lainnya) dan persyaratan sistem Anda (ukuran susunan, kemiringan, orientasi), dan mereka merancang sistem rak dan menyertakan gambar rencana dan lembar spesifikasi untuk instalasi. Mereka mungkin memerlukan uji tanah dari situs Anda untuk menyelesaikan desain. Gambar dan spesifikasi pabrikan mungkin cukup untuk mendapatkan izin proyek, atau departemen bangunan Anda mungkin ingin melihat stempel persetujuan insinyur lokal. Sebelum memesan sistem *ground-mount*, pelajari tentang persyaratan departemen bangunan sehingga Anda dapat mendiskusikannya dengan pabrikan.

Bahan untuk sistem ground-mount standar bervariasi menurut produsen dan model, tetapi sebagian besar struktur dimulai dengan tiang vertikal yang terbuat dari pipa air galvanis standar (biasanya jadwal 40) yang dapat Anda ambil di pusat rumah atau toko perlengkapan pipa ledeng setempat. Beberapa sistem menggunakan balok (berbentuk H atau I) untuk tiang; ini disediakan oleh produsen atau pemasok peralatan surya. Rel dasar, yang membentang melintasi tiang vertikal, dapat juga berupa pipa galvanis, atau dapat berupa rel yang dipasang oleh pabrikan. Rel modul menjangkau rel dasar dan menopang modul. Penempatan, panjang, dan kuantitas rel berbeda dengan orientasi modul (seperti Orientasi Modul: Potret atau Lanskap?, di bawah). Beberapa sistem pemasangan di tanah dirancang untuk mengakomodasi berbagai rel modul dari pabrikan lain, dan yang lainnya dilengkapi dengan relnya sendiri.



**Gambar 3.17** Rencana untuk sistem pemasangan di tanah harus mencakup spesifikasi untuk jarak tiang dan diameter serta kedalaman lubang untuk pondasi tiang beton.

Pijakan harus memanjang di bawah garis es (kedalaman di mana tanah membeku di musim dingin) untuk melindungi dari pergerakan tanah yang disebabkan oleh siklus beku-cair musiman. Rencana biasanya memerlukan stempel insinyur, dan inspektur kemungkinan akan membandingkan rencana dengan instalasi sebenarnya sebelum menyetujui sistem Anda.

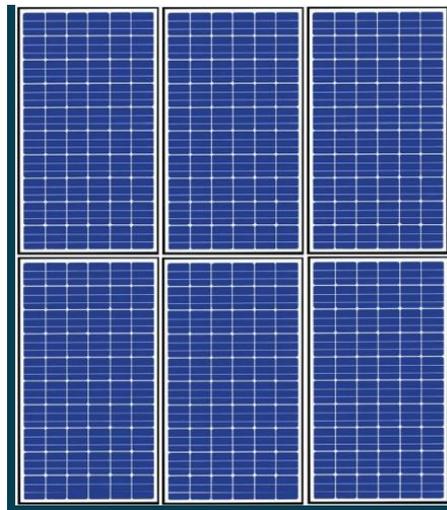
#### **Orientasi Modul: Potret Atau Lanskap?**

Modul PV tidak peduli apakah itu vertikal (potret) atau horizontal (lanskap), jadi pilihan ada di tangan Anda. Biasanya tergantung pada cara panel mana yang paling cocok dan apa yang bekerja dengan baik dengan rak. Namun, desain sistem khusus untuk orientasi, jadi Anda harus memutuskan terlebih dahulu.

- **Pada Rooftops Lempung**, sebagian besar susunan adalah potret karena ini memberi Anda lebih banyak fleksibilitas untuk penempatan rel. Dengan tata letak potret, rel

modul tegak lurus dengan kasau dan dapat diatur pada jarak berapa pun selama Anda tetap dalam spesifikasi pabrikan modul. Dengan tata letak lanskap, rel berjalan sejajar dengan kasau dan harus mengikuti jarak kasau. Selain itu, orientasi potret pada atap miring cenderung terlihat lebih alami. Namun, jika Anda mempertimbangkan sistem pemasangan tanpa rel, ketahuilah bahwa beberapa hanya berfungsi dengan orientasi lanskap.

- **Atap Datar** biasanya memerlukan orientasi lanskap untuk menjaga tepi atas modul lebih dekat ke atap, mengurangi beban angin dan visibilitas modul. Namun, array juga dapat dirancang untuk orientasi potret, dengan teknik dan desain yang sesuai, biasanya dilakukan oleh para profesional.
- **Struktur Ground-Mount** bisa berjalan baik, dan orientasi sering didasarkan pada jumlah modul dan desain rak. Tata letak potret biasanya memiliki dua baris modul horizontal. Tata letak lanskap dapat setinggi dua hingga lima modul.



**Gambar 3.18** Potret



**Gambar 3.19** Lanskap

### 3.6 INVERTER DAN PENGOPTIMAL DC

Semua sistem PV mencakup satu atau lebih inverter yang mengubah daya DC yang dihasilkan surya menjadi daya AC untuk digunakan di rumah dan untuk sambungan utilitas untuk sistem jaringan (daya utilitas juga AC). Pilihan untuk sistem grid-tied dibahas di sini. Sistem off-grid memiliki pengaturan yang agak berbeda, yang biasanya mencakup satu atau lebih inverter yang menerima daya DC dari baterai dan mengirim daya AC ke rumah. Inverter

off-grid dibahas dalam bab 9. Ada dua jenis inverter untuk sistem grid-tied: inverter string dan inverter mikro. Opsi ketiga adalah menambahkan pengoptimal DC ke sistem inverter string. **Inverter string** adalah unit yang relatif besar yang dipasang (biasanya di dinding) di lantai dasar, sering kali di dekat komponen penghubung dan biasanya di garasi atau ruang bawah tanah.



**Gambar 3.20** Inverter tali

Sebagian besar unit memiliki penutup luar ruangan dan juga dapat dipasang di dinding luar. Mereka menerima daya DC dari rangkaian rangkaian dan mengirimkan daya AC ke beban listrik rumah. Sebagian besar sistem PV perumahan dengan inverter string memiliki satu atau dua inverter, tergantung pada ukuran dan tata letak array. Inverter string untuk sistem jaringan-terikat biasanya disebut sebagai "inverter grid-tie," untuk membedakannya dari inverter yang berdiri sendiri (kadang-kadang disebut "inverter baterai") yang digunakan untuk sistem off-grid. Ini adalah terminologi industri standar yang akan Anda lihat saat berbelanja untuk inverter.

**Microinverter** adalah unit kecil yang dipasang di sisi belakang setiap modul atau ke sistem rak di bawah modul. Biasanya, setiap modul memiliki microinverter sendiri, meskipun beberapa microinverter dapat diumpangkan dari dua modul. Microinverter mengubah daya DC menjadi daya AC pada modul individual, sehingga semua kabel yang menghubungkan modul dan mengalir ke tanah membawa listrik AC.



**Gambar 3.21** Mikroinverter

### Pemantauan dan Pengoptimalan Kinerja

Inverter melakukan lebih dari sekadar mengubah daya dari DC ke AC. Mereka juga memantau kinerja modul atau string dan secara otomatis melakukan penyesuaian untuk mengoptimalkan output daya. Produksi listrik tenaga surya terus berfluktuasi sepanjang hari, karena perubahan radiasi matahari (berapa banyak sinar matahari yang mengenai modul), suhu udara, naungan, dan faktor lainnya. Inverter memantau efek dari perubahan ini dan merespons dengan menggeser keseimbangan tegangan dan arus listrik untuk mendapatkan output setinggi mungkin dari modul. Ini dikenal sebagai pelacakan titik daya maksimum (MPPT), dan semua inverter string dan mikroinverter modern memiliki kemampuan ini. Inverter juga merupakan alat yang dapat digunakan oleh pemilik dan teknisi sistem PV untuk memantau output dan faktor kinerja lain dari modul atau rangkaian modul mereka, membantu pemeliharaan, pemecahan masalah, dan servis.

Anda akan mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang cara kerja pemantauan dan pengoptimalan saat Anda mempelajari kurva I–V (lihat di sini), tetapi untuk saat ini Anda hanya perlu mengetahui bahwa inverter string dan inverter mikro menangani pemantauan kinerja secara berbeda. Seperti disebutkan secara singkat dalam diskusi tentang naungan di bab 2, inverter string mendapatkan input dari modul sebagai string, bukan sebagai modul individu. Inverter memonitor dan mengoptimalkan output dari seluruh string karena tidak dapat membedakan satu modul dari yang lain.

Mikroinverter menawarkan pemantauan tingkat modul dan pengoptimalan MPPT. Jika sebuah modul diarsir, mikroinverternya dapat menyesuaikan produksinya tanpa mempengaruhi modul lainnya. Pemantauan tingkat modul juga memberi Anda fleksibilitas untuk merancang susunan dengan kelompok kecil modul pada kemiringan atap yang berbeda dan bahkan untuk menggunakan ukuran dan model modul yang berbeda. Pemantauan modul individual juga membantu memecahkan masalah. Namun, layanan mikroinverter memang membutuhkan pelepasan modul.



**Gambar 3.22** Inverter mikro biasanya dipasang ke rak di bawah modul. Mikroinverter ini terhubung ke dua modul. Kabel yang lebih berat menghubungkan mikroinverter bersama-sama.

Untuk membantu mengimbangi perbedaan yang melekat ini, ada dua cara untuk memberikan pemantauan yang lebih tepat pada sistem inverter string. Salah satunya adalah dengan menggunakan inverter string dengan beberapa input, masing-masing dengan kemampuan MPPT. Ini memungkinkan string yang berbeda (bukan modul) untuk memiliki orientasi, kemiringan, dan tipe modul yang berbeda tanpa memiliki satu string yang menghalangi kinerja yang lain. Opsi kedua adalah menambahkan pengoptimal DC ke sistem inverter string. Seperti inverter mikro, pengoptimal DC dipasang di setiap modul dan melakukan penyesuaian secara individual. Perbedaan utama antara mikroinverter dan pengoptimal DC adalah bahwa yang terakhir tidak mengubah daya DC menjadi daya AC pada modul; mereka selalu digunakan pada sistem dengan inverter string untuk konversi daya. Namun, mereka memungkinkan pemantauan modul individual dan pengoptimalan MPPT.



**Gambar 3.23** Pengoptimal DC

Anda dapat memeriksa kinerja modul Anda dengan sistem pemantauan data yang Anda akses di komputer atau ponsel cerdas Anda, melalui perangkat lunak online pabrikan (lihat Memantau Sistem Anda). Seperti yang Anda duga, inverter string dapat memberi tahu Anda apa yang terjadi hanya dengan setiap string dalam array Anda, sementara mikroinverter dan pengoptimal DC melaporkan setiap modul. Jika modul berkinerja buruk secara signifikan tanpa alasan yang jelas, Anda akan tahu ada yang salah dengannya. Hal yang sama dengan mikroinverter atau pengoptimal yang offline.

Kemampuan pemantauan data tidak standar dengan semua inverter string, jadi pastikan untuk mempertimbangkan apakah Anda ingin memiliki fitur ini. Dengan beberapa inverter, ini adalah tambahan yang harus Anda pesan. Saat tiba waktunya untuk menyiapkan sistem pemantauan setelah penginstalan, Anda dapat menghubungi pabrikan untuk meminta anggota staf pendukung memandu Anda melalui proses tersebut.

### **3.7 INVERTER STRING VS MIKROINVERTER**

Tidak dapat disangkal bahwa mikroinverter (pemula muda) memiliki beberapa fitur yang bagus dan mungkin tampak seperti tidak perlu dipikirkan lagi untuk sistem PV baru Anda, tetapi ada beberapa alasan bagus mengapa pro surya masih memilih inverter string (pendukung lama) saat mendesain untuk pelanggan perumahan. Berikut ini uraian singkat tentang pro dan kontra dasar masing-masing.

### **Mikroinverter**

#### Kelebihan:

- Mikroinverter menawarkan pemantauan dan pengoptimalan kinerja tingkat modul.
- Fleksibilitas desain berarti lebih sedikit batasan saat mengatur modul (dijelaskan dalam bab 4).
- Peralatan pemadaman cepat tidak diperlukan, yang menghemat waktu dan biaya pemasangan.
- Kegagalan/masalah dengan mikroinverter individu hanya mempengaruhi satu modul, bukan seluruh sistem.
- Output AC berada pada level modul.

#### Kontra:

- Biaya total semua inverter mikro mungkin lebih tinggi daripada biaya inverter string tunggal (bahkan setelah memperhitungkan penghematan pada peralatan shutdown cepat).
- Kadang-kadang output mikroinverter menjadi terbatas di bawah radiasi tinggi (misalnya, modul mungkin menghasilkan 300 watt tetapi output mikroinverter dibatasi hingga 280 watt).
- Penggantian memerlukan penghapusan satu atau lebih modul; Hukum Murphy menyatakan bahwa mikroinverter yang buruk akan terkubur jauh di dalam array, jadi Anda harus melepas beberapa modul untuk mencapainya.
- Beberapa pemilik dan pemasang PV, takut akan keausan, tidak menyukai gagasan memiliki elektronik sensitif di atap, terutama ketika efek suhu ekstrem menjadi risiko.
- Mikroinverter tidak dapat digunakan dengan sistem off-grid standar.

### **String Inverter**

#### Kelebihan:

- Inverter string dipasang di permukaan tanah, sering kali di area terlindung, menawarkan akses mudah dan satu titik perawatan/servis.
- Mereka bisa lebih murah, terutama dengan sistem besar.
- Mereka dapat memiliki cadangan daya tambahan/cadangan (hanya tersedia pada unit tertentu; lihat di sini).

#### Kontra:

- Kegagalan atau masalah inverter string menonaktifkan seluruh sistem PV.
- Pemantauan dan pengoptimalan kinerja biasanya kurang tepat pada level string, bukan level modul meskipun hal ini bervariasi menurut sistem dan inverter.
- Sistem inverter string memerlukan peralatan mati cepat, yang berarti biaya tambahan, waktu pemasangan, dan kemungkinan pemeliharaan berkelanjutan atau penggantian di masa mendatang.

## **3.8 PERLINDUNGAN SHUTDOWN CEPAT**

Salah satu manfaat besar dari mikroinverter memberikan penjelasan. Di bawah National Electrical Code (NEC), sistem PV sekarang diharuskan memiliki perlindungan

shutdown yang cepat. Ini berarti daya antara susunan surya dan inverter DC-AC dapat dimatikan secara otomatis dan manual.

Inilah mengapa shutdown cepat diperlukan: Saat jaringan mati, inverter secara otomatis memutuskan daya ke kabel dan komponen antara inverter dan panel servis listrik utama (kotak pemutus). Fitur "pemisahan sendiri" ini mencegah sistem PV dari memberi makan kembali jaringan selama pemadaman atau ketika utilitas telah mematikan daya untuk bekerja di saluran. Saat jaringan tidak mati, sakelar pemutus DC (disertakan dengan semua inverter string baru) menyediakan cara manual untuk memotong daya yang dihasilkan surya antara inverter dan panel servis.

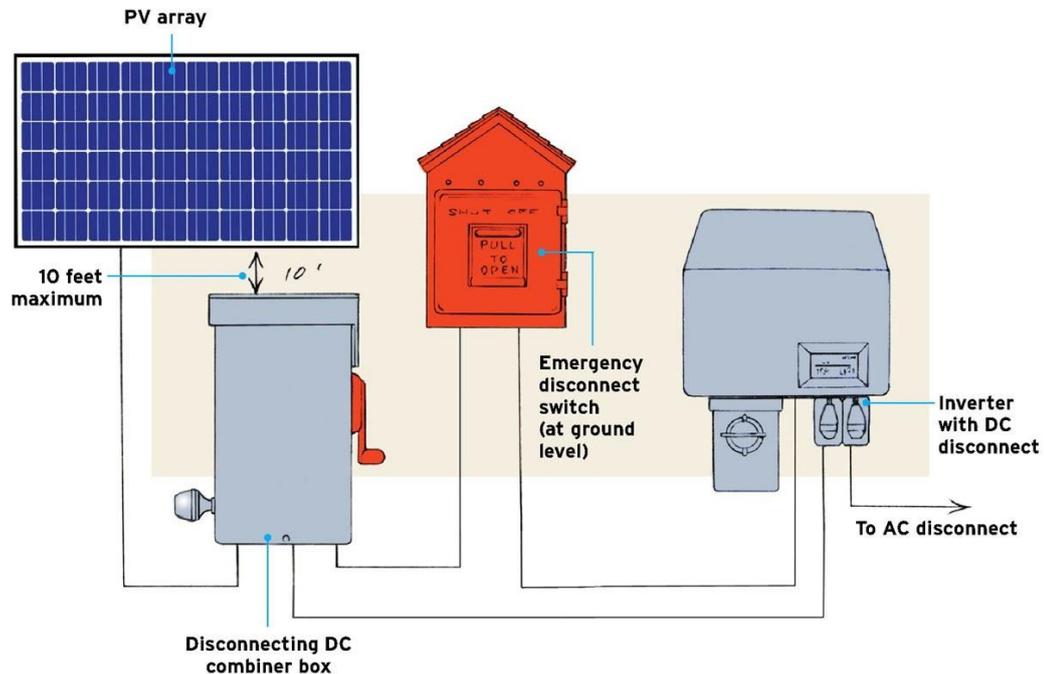


**Gambar 3.24** Unit sakelar pemutus darurat shutdown cepat

Namun, modul PV selalu menghasilkan listrik pada siang hari. Itu berarti mereka memberi makan kabel antara array dan inverter bahkan ketika daya dimatikan pada pemutusan DC. Shutdown cepat memutuskan daya ke kabel ini sehingga pekerja utilitas dan petugas pemadam kebakaran dan responden darurat lainnya tidak terkena risiko kejutan jika mereka bekerja di sekitar kabel atau komponen lain di sisi DC sistem.

Microinverter hadir dengan kemampuan shutdown otomatis. Sistem PV dengan inverter string memerlukan sistem shutdown cepat khusus untuk kepatuhan kode. Ini mungkin termasuk kotak eksternal dengan sakelar manual yang terhubung ke kotak penggabungan pemutus khusus pada susunan PV; sebagai alternatif, sistem mungkin dirancang untuk menggunakan pengoptimal DC untuk menyediakan fitur penonaktifan otomatis ini, yang mungkin memerlukan konektor khusus atau perangkat tambahan. Peralatan tambahan menambah biaya (dan beberapa waktu pemasangan) ke sistem inverter string.

### 3.9 SISTEM SHUTDOWN CEPAT STANDAR



**Gambar 3.25** Sistem pematian cepat standar mencakup sakelar pemutus darurat di permukaan tanah dan kotak penggabung pemutus yang terletak dalam jarak 10 kaki dari susunan PV.

Menekan sakelar pada pemutus darurat menyebabkan kotak penggabung mematikan daya antara dirinya dan inverter. Pengkabelan antara larik dan kotak penggabung tetap hidup, itulah sebabnya kotak tidak boleh lebih dari 10 kaki dari larik.

### 3.10 DAYA DARURAT UNTUK SISTEM GRID-TIED

Saat jaringan mati, sistem Anda yang terikat jaringan mati karena fitur self-islanding, tetapi susunannya masih menghasilkan daya selama siang hari. Fitur khusus pada beberapa inverter string terikat jaringan memungkinkan Anda memanfaatkan daya ini dan memasukkannya ke satu outlet listrik saat jaringan mati. Stopkontak biasanya memasok maksimum 1.500 watt dan hanya berfungsi pada siang hari ketika rangkaiannya produktif, tetapi itu banyak daya untuk mengisi daya elektronik atau menyalakan lampu atau peralatan kecil. Kemampuan ini tidak tersedia untuk sistem mikroinverter.

## BAB 4

### MERANCANG SISTEM ANDA

#### 4.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

Proses desain dimulai dengan mempersempit pilihan Anda untuk modul dan perangkat keras lainnya. Ini diakhiri dengan tata letak array yang sederhana namun terperinci (dengan spesifikasi) dan diagram pengkabelan dari seluruh sistem PV. Anda akan menggunakannya saat membeli perangkat keras sistem dan saat mengajukan izin. Sepanjang jalan, Anda akan mempelajari beberapa prinsip dasar listrik dan membuat beberapa perhitungan sederhana (tidak ada matematika yang sulit, kami berjanji). Ini adalah bagian paling teknis dari proyek surya, dan mungkin banyak yang harus dicerna pada awalnya. (Jika pikiran Anda adalah sistem PV, akan lebih baik untuk menyimpan pekerjaan desain untuk hari yang cerah.) Tapi begitu Anda menyerap dasar-dasarnya, kepercayaan yang Anda peroleh akan tetap bersama Anda selama sisa proyek.

Catatan untuk orang-orang off-grid: Fokus umum dan desain sampel dalam bab ini melibatkan sistem grid-tied, tetapi semua informasi desain berkaitan dengan sistem off-grid juga. Informasi desain khusus untuk sistem off-grid dibahas dalam bab 9.

#### 4.2 DASAR-DASAR SIRKUIT PV

Sebelum merancang sistem Anda, Anda perlu memahami beberapa prinsip kelistrikan: (1) pengkabelan seri dan paralel, (2) seperangkat aturan rangkaian listrik, dan (3) kurva I–V. Kami akan membahas ilmu dasar masing-masing dan meninggalkan Anda dengan beberapa takeaways yang sangat sederhana untuk diterapkan pada perhitungan Anda sendiri. Prinsip-prinsip dasar ini penting apakah Anda mendesain untuk inverter string atau inverter mikro.

##### **Pengkabelan Seri dan Paralel**

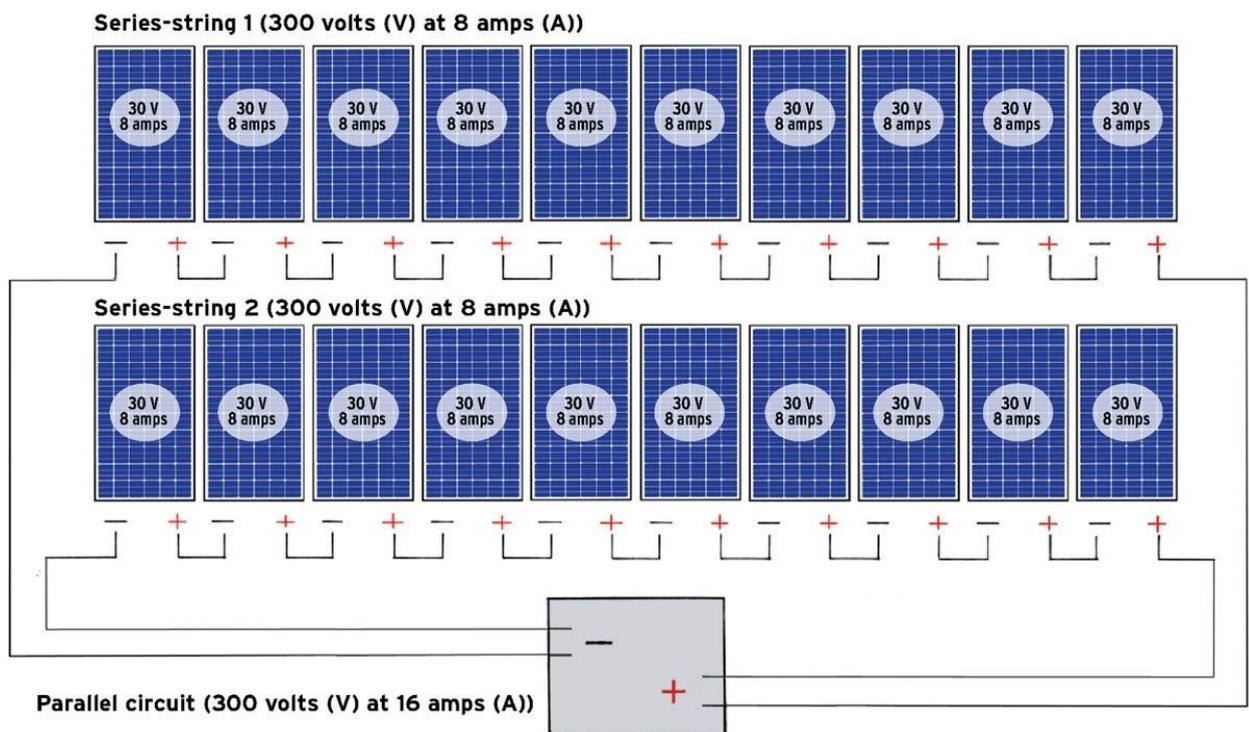
Pengkabelan seri dan pengkabelan paralel adalah dua konfigurasi yang digunakan untuk berbagai bagian sistem PV. Modul individu dihubungkan bersama secara seri untuk membuat string seri. Seri-string kemudian disambungkan secara paralel sebelum mengumpankan ke seluruh sistem. Hal ini berlaku untuk sistem jaringan-terikat dengan inverter string dan sistem off-grid. Orang-orang di luar jaringan juga akan menerapkan kabel seri dan paralel ke bank baterai (lihat di sini). Dengan sistem microinverter, Anda tidak perlu repot dengan kabel paralel, seperti yang dijelaskan di sini.

Pengkabelan modul secara seri berarti Anda menggabungkan kabel positif (+) dari satu modul ke kabel negatif (–) modul berikutnya. Pada akhir string ini, Anda memiliki satu lead negatif ekstra di satu ujung dan satu lead positif ekstra di ujung lainnya. Efek dari kabel seri adalah tegangan bertambah sementara arus listrik tetap sama. Misalnya, jika Anda memiliki 10 modul dalam rangkaian seri, dan masing-masing memiliki peringkat output 30 volt pada 8 amp, string akan memiliki peringkat tegangan 300 volt ( $10 \times 30$ ) pada arus 8 amp.

Pengkabelan rangkaian-string modul secara paralel berarti Anda menghubungkan kabel ekstra positif dari string bersama-sama dan kabel negatif ekstra dari string bersama-sama. Efek dari kabel paralel adalah tegangan tetap sama sementara arus listrik bertambah.

Misalnya, jika Anda memiliki dua senar di atas (300 volt pada 8 amp) dan menghubungkannya secara paralel, seluruh rangkaian akan memiliki keluaran terukur 300 volt pada 16 amp. (Ingat bahwa  $\text{volt} \times \text{amp} = \text{watt}$ ; oleh karena itu, susunan ini memiliki keluaran daya terukur  $300 \times 16 = 4.800 \text{ watt}$ .)

Alasan mengapa Anda memasang modul secara seri dan memasang rangkaian-string secara paralel dan bukan sebaliknya adalah karena kemampuan dan kompatibilitas peralatan. Modul PV menghasilkan tegangan yang relatif rendah (biasanya sekitar 30 volt DC) dan arus yang relatif tinggi (biasanya sekitar 8 amp DC). Bandingkan dengan rangkaian listrik rumah tangga standar, yang beroperasi pada 120 volt AC dan maksimum 15 atau 20 amp AC. Pengkabelan modul secara seri memunculkan tegangan tanpa menaikkan arus. Juga, inverter string biasanya dirancang untuk menerima 200 hingga 400 volt dan 10 hingga 40 amp. Modul pengkabelan secara seri dan seri-string secara paralel memungkinkan array PV mencapai rentang tegangan dan arus tersebut.



**Gambar 4.1** Kabel seri dan paralel

Masing-masing dari dua rangkaian senar ini menunjukkan modul yang dihubungkan bersama secara seri (sambungan positif ke negatif). Kedua senar seri tersebut kemudian dihubungkan secara paralel (sambungan positif ke kabel positif dan kabel negatif ke kabel negatif).

### Aturan Sirkuit Listrik DC

Tiga aturan rangkaian listrik (ECR) mengatur perilaku rangkaian listrik DC dasar yang dihubungkan secara seri dan paralel. Ini didasarkan pada prinsip-prinsip ilmiah yang dikenal sebagai hukum Kirchoff. (Anda sudah mengetahui inti dari #1 dan #3.)

1. **ECR #1:** Ketika modul dihubungkan secara seri, voltase bertambah sementara arus listrik tetap sama.

2. **ECR #2:** Ketika rangkaian-rangkaian modul disambungkan secara paralel, tegangan masing-masing rangkaian dipaksa menjadi sama.
3. **ECR #3:** Ketika rangkaian-rangkaian modul disambungkan secara paralel, total ampere rangkaian bertambah sementara tegangan setiap rangkaian tetap sama.

Anda akan menerapkan ketiga aturan ini saat menghitung nilai output untuk modul dan string Anda dan saat memastikan nilainya sesuai dengan persyaratan dan spesifikasi input inverter Anda. Mereka juga memengaruhi cara Anda mendesain modul string, tetapi aturan berlaku secara berbeda untuk sistem dengan inverter string dan mikroinverter.

**Inverter string:** ECR #2 menentukan bahwa setiap string-seri dalam array harus memiliki jumlah modul yang sama. Misalnya, jika Anda telah menentukan bahwa array Anda akan memiliki total 18 modul, Anda dapat menghubungkannya menjadi dua string dari 9 modul atau bahkan tiga string dari 6 modul, tetapi Anda tidak boleh menghubungkannya dengan satu string 10 dan satu string 8. Karena ECR #2 memaksa kedua senar dari rangkaian paralel memiliki tegangan yang sama, jika Anda memiliki senar yang tidak rata, salah satunya akan beroperasi di atas nilai optimalnya dan satu lagi akan beroperasi di bawah level optimalnya. Oleh karena itu, tidak ada string yang akan beroperasi pada titik tegangan optimalnya. Anda akan memahami ini lebih lengkap dengan diskusi kurva I–V berikut.

**Mikroinverter:** Karena inverter mikro mengkonversi dari DC ke AC pada modul, aturan di atas tidak berlaku. Ini berarti Anda tidak perlu khawatir mengelompokkan semua modul Anda dalam jumlah yang sama. Misalnya, tidak apa-apa untuk memiliki satu string dari 10 modul dan satu string dari 8, atau bahkan dua string dari 7 dan satu string dari 4, tanpa mengorbankan kinerja. Yang harus Anda ikuti adalah batasan pabrikan tentang berapa banyak mikroinverter yang dapat dihubungkan bersama. Beberapa mikroinverter dapat digabungkan dalam string besar yang terdiri dari 20 modul atau lebih, sehingga beberapa array dapat terdiri dari satu string. Tetapi kebanyakan mikroinverter memiliki batas yang lebih rendah, menghasilkan array yang terdiri dari dua atau lebih string. Omong-omong, pengelompokan modul dalam sistem mikroinverter disebut sirkuit cabang, mungkin untuk menghindari kebingungan dengan string inverter-string. Kedua istilah tersebut mengacu pada sekelompok modul yang dihubungkan secara seri.

#### **Dasar-Dasar Sirkuit Pv: Takeaways**

- Saat Anda menyambungkan modul secara seri, Anda menjumlahkan tegangan semua modul dalam rangkaian seri untuk menentukan tegangan keluaran rangkaian (ECR #1).
- Tegangan semua rangkaian seri pada rangkaian paralel dipaksa sama (ECR #2). Oleh karena itu, array untuk sistem inverter string harus memiliki jumlah modul yang sama di setiap string.
- Saat Anda menyambungkan senar seri secara paralel, Anda menjumlahkan ampere semua senar untuk menentukan arus keluaran rangkaian (ECR #3).
- String (sirkuit cabang) dalam sistem mikroinverter tidak boleh melebihi batas maksimum unit mikroinverter per string.

### Kurva I-V

Dalam bab 3, di bagian Pemantauan dan Pengoptimalan Kinerja, kami membahas bagaimana inverter menggunakan pelacakan titik daya maksimum (MPPT) untuk menyesuaikan tegangan dan arus untuk keluaran daya terbaik di bawah rangkaian kondisi luar ruangan saat ini. Kurva I-V membantu menunjukkan ilmu dasar di balik fitur MPPT pada inverter dan membantu Anda memahami spesifikasi modul yang akan Anda gunakan saat merancang sistem Anda.

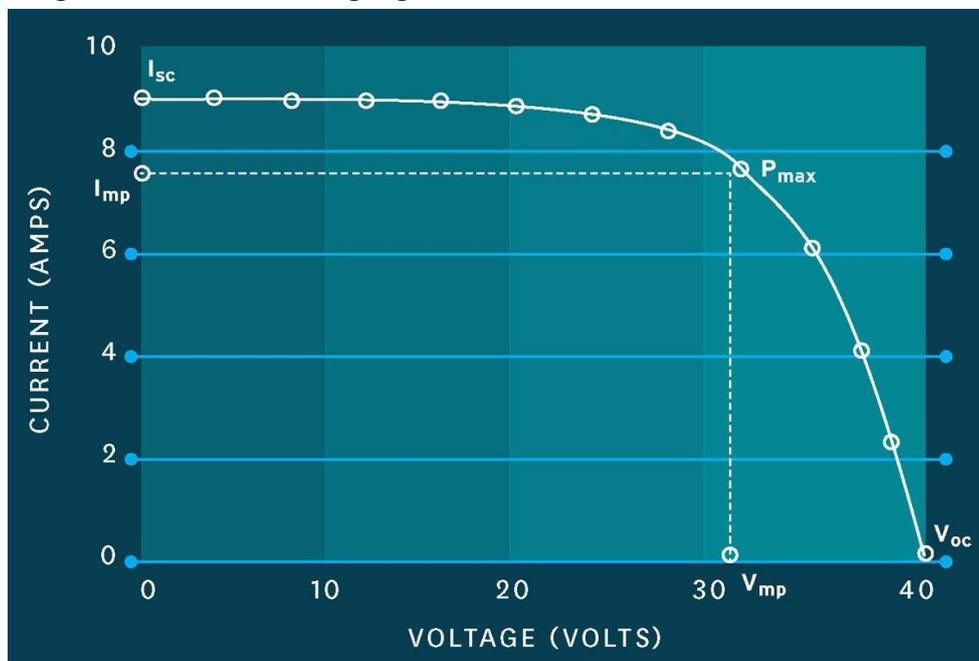
Kurva I-V adalah representasi grafis dari hubungan antara arus, atau ampere (I), dan tegangan (V) dalam perangkat listrik seperti sel surya atau modul PV. Karena daya listrik (P, diukur dalam watt) adalah produk dari arus dan tegangan, kurva I-V menunjukkan bagaimana perubahan arus atau tegangan mempengaruhi keluaran listrik:

$$P \text{ (power)} = I \text{ (current)} \times V \text{ (voltage)}$$

and

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ amp} \times 1 \text{ volt}$$

Seperti yang Anda lihat pada kurva I-V dari modul PV tunggal (di bawah), ketika tegangan berada pada titik tertinggi (40 volt dalam contoh ini) arus berada pada 0. Itu berarti 0 listrik (40 volt  $\times$  0 amp = 0 watt). Sebaliknya, ketika arus berada pada titik tertinggi (9 amp) tetapi tegangan pada 0, lagi-lagi tidak ada daya (9 amp  $\times$  0 volt = 0 watt). Ini memberitahu Anda bahwa untuk menciptakan listrik yang dapat digunakan, Anda perlu mencapai keseimbangan antara arus dan tegangan.



**Gambar 4.2** Kurva I-V modul tunggal

Pelajaran latar belakang singkat: Tegangan secara longgar digambarkan sebagai tekanan dalam rangkaian listrik yang memaksa listrik mengalir. Pikirkan tekanan air di selang taman. Arus digambarkan sebagai aliran elektron dalam suatu rangkaian dan merupakan hasil dari tekanan. Pikirkan volume air yang mengalir di selang taman. Jika Anda menempatkan

*Instalasi Panel Listrik Surya (Dr. Agus Wibowo)*

modul PV di bawah sinar matahari penuh dan menghubungkan kabel output plus (+) dan minus (–) bersama-sama, Anda membuat korsleting dengan arus maksimum (aliran tinggi) tetapi tegangan nol (tanpa tekanan) karena tidak ada hambatan terhadap mengalir. Ini dikenal sebagai nilai arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) pada lembar spesifikasi modul dan dapat dilihat pada kurva I–V sebagai titik di mana kurva memotong sumbu Y (arus). Jika Anda melepaskan kedua kabel, Anda menciptakan kondisi rangkaian terbuka yang memiliki tegangan maksimum (tekanan tinggi) tetapi arus nol (tidak ada aliran). Sel surya aktif, tetapi tidak ada tempat untuk elektron pergi, jadi Anda tidak mendapatkan listrik. Ini adalah nilai tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) pada lembar spesifikasi modul dan merupakan titik pada grafik I–V di mana kurva memotong sumbu X (tegangan).

Kembali ke kurva I–V: Pada setiap titik sepanjang kurva ini terdapat nilai daya (dalam watt) yang terkait dengan arus (amp) titik tersebut dikalikan tegangannya (volt). Anda mendapatkan listrik paling banyak ketika Anda memiliki nilai gabungan arus dan tegangan tertinggi di sepanjang kurva I–V; yaitu, ketika produk  $I \times V$  adalah yang terbesar. Titik manis ini disebut titik daya maksimum (MPP, atau  $P_{max}$ ). Ini selalu dekat "lutut" kurva I–V; dalam contoh ini,  $P_{max}$  sekitar 33 volt dan 7,6 amp. Ini juga di mana kami ingin modul beroperasi dan sama dengan nilai keluaran modul ( $33 \text{ volt} \times 7,6 \text{ amp} = 250,8 \text{ watt}$ ).

Inverter DC-AC (baik inverter string dan mikroinverter) mendeteksi arus dan tegangan dalam rangkaian modul atau string dan kemudian mengubah tingkat resistansi di sirkuit untuk menyesuaikan tegangan dan arus agar dapat mencapai MPP setiap saat. Jika arus turun (karena matahari terbenam di balik awan, misalnya), inverter menyesuaikan resistansi untuk mengubah tegangan dan mempertahankan MPP pada nilai arus yang lebih rendah. Ketika matahari kembali keluar dan arus naik, inverter kembali menyesuaikan resistansi, mengubah tegangan dan meningkatkan output, lagi untuk beroperasi pada MPP. Proses pengoptimalan MPPT yang terus-menerus ini memberikan pemilik rumah output listrik maksimum dari sistem PV mereka setiap saat, apa pun kondisi cuaca di luar ruangan.



**Gambar 4.3** konsep pengoptimalan proses MPPT untuk output listrik rumah maksimum

### 4.3 PROSES DESAIN

Sekarang setelah Anda mengetahui aturan dasar sirkuit PV, saatnya untuk memulai proses desain dengan sungguh-sungguh. Desain sistem PV sebagian besar berkisar pada tiga

komponen utama yang kita lihat di bab 3: modul, struktur pendukung modul, dan inverter DC–AC. Prosesnya mengikuti urutan langkah yang dimulai dengan ukuran sistem DC Anda dan target energi tahunan AC yang Anda hitung dengan PVWatt di bab 2.

Dengan mempertimbangkan tujuan Anda, Anda ingin memilih modul yang merupakan kandidat yang baik untuk mencapai tujuan ini dan yang juga sesuai dengan atap Anda dan sesuai dengan anggaran Anda. Selanjutnya, Anda menggunakan spesifikasi modul (tersedia online) untuk merencanakan tata letak array dan konfigurasi kabel (string) dan menjalankan perhitungan untuk inverter. Pilihan Anda untuk struktur rak atap atau struktur ground-mount sejalan dengan model modul, karena keduanya harus kompatibel. Setelah Anda memiliki tiga bagian utama (modul, struktur pendukung, inverter), komponen lainnya mudah untuk diisi, karena sebagian besar bersifat generik. Proses dasar diuraikan dalam diagram alur di sini.

Ada beberapa aturan yang perlu diingat saat Anda mengerjakan proses ini:

1. Jadilah fleksibel. Karena semua komponen sistem harus kompatibel, dan bersama-sama mereka harus memenuhi tujuan daya (dan anggaran) Anda, Anda mungkin akan bertukar produk di sana-sini sebelum menyelesaikan daftar belanja Anda. Jangan terpaku pada satu model modul dan memaksakan yang lainnya agar pas. Ada banyak cara untuk mencapai tujuan yang sama, dan mengubah desain sistem seiring berjalannya waktu adalah bagian normal dari proses.
2. Desain sistem akhir Anda harus bekerja baik secara fisik maupun elektrik. Menemukan modul yang pas di atap Anda tanpa melanggar batasan pemasangan (dan juga terlihat bagus, jika itu penting) adalah contoh persyaratan fisik. Menemukan modul dengan spesifikasi kelistrikan yang memenuhi target daya Anda dan bekerja dengan baik dengan inverter Anda adalah salah satu persyaratan kelistrikan. Persyaratan kelistrikan tambahan adalah memastikan rangkaian modul seri dan paralel Anda tidak melanggar ECR #1–#3 (lihat di sini).

### **Bagan Alur Desain Sistem Pv**

#### Sasaran

- Ukuran sistem DC (dalam kW) dari PVWatt, berdasarkan target energi tahunan AC (dalam kWh/tahun)



#### Pemilihan Modul

Periksa spesifikasi modul untuk:

- Output (watt, tegangan, arus)
- Dimensi modul
- Kompatibilitas dengan sistem pendukung



#### Tata Letak Array

- Tentukan jumlah total modul dan rencanakan tata letak fisik larik di atap/tanah.



#### Perhitungan Listrik

- Terapkan spesifikasi modul untuk menghitung tegangan, arus, dan watt string dan sistem.

- Konfirmasikan tata letak array dan konfigurasi string.

↓

Seleksi Inverter

- Terapkan spesifikasi inverter untuk perhitungan listrik. Pastikan inverter kompatibel dengan modul string (seri dan paralel).

↓

Perhitungan Mekanik

- Tentukan jumlah elemen racking/ground-mount (footer, rel, tiang, klem, dll.).

↓

Meter, Memutuskan, Dan Sebagainya

- Catat komponen yang tersisa dalam urutan lokasi pemasangan. (Ahli listrik Anda dapat membantu dengan ini.)

#### 4.4 CONTOH DESAIN SISTEM

Cara terbaik untuk mempelajari desain sistem adalah dengan mempelajari beberapa contoh realistis. Kita akan mulai dengan berjalan selangkah demi selangkah melalui Desain Sampel 1: sistem atap miring (flush-mount) standar dengan inverter string (termasuk variasi untuk pengoptimal DC dan atap datar). Apa pun rencana Anda, Anda harus membaca proses sampel ini karena mencakup proses desain dasar secara mendetail. Kemudian kita akan melihat sistem atap dengan mikroinverter ( Desain Sampel 2) serta dua sistem pemasangan di tanah ( Desain Sampel 3 dan Desain Sampel 4), dengan fokus pada titik di mana mereka berbeda dari Desain Sampel 1.

Contoh lembar kerja yang ditampilkan di sini didasarkan pada desain aktual untuk sistem PV yang sekarang memberi daya pada rumah tangga sebenarnya. Menggunakan templat lembar kerja seperti ini adalah cara yang bagus untuk menggabungkan semua desain penting pada selembar kertas. Ini akan berfungsi sebagai referensi yang berguna ketika Anda mengisi formulir izin dan melakukan pembelian perangkat keras Anda. Anda dapat membuat template serupa menggunakan aplikasi spreadsheet seperti Excel dan memodifikasinya sesuai kebutuhan.

Ada ilustrasi diagram rinci di seluruh bab ini. Jika Anda merasa sulit untuk membaca, ketuk dua kali gambar untuk membuka untuk mengisi layar. Gunakan metode cubit dengan dua jari untuk memperbesar. (Fitur ini tersedia di sebagian besar e-reader.)

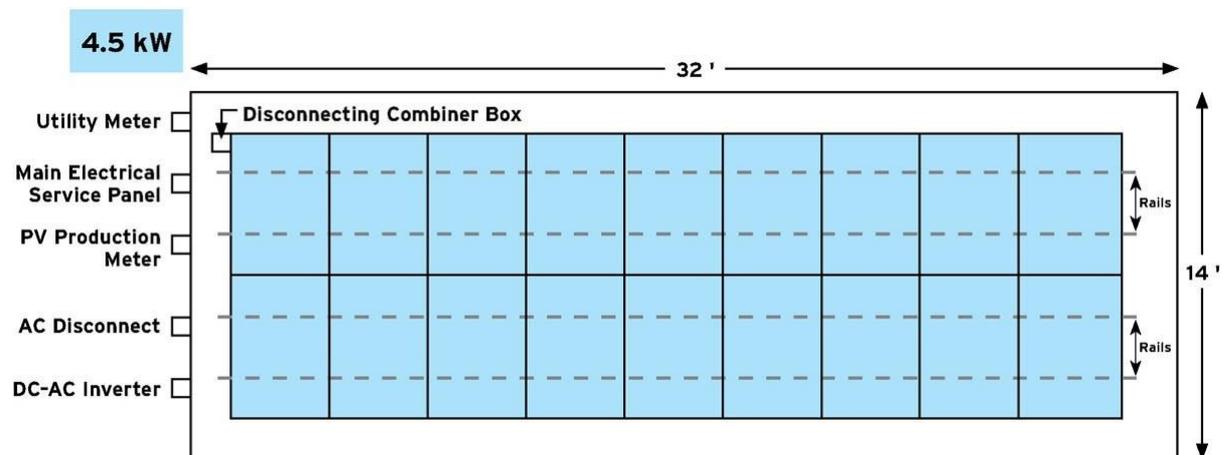


**Gambar 4.4** Pemasangan sistem PV

### Sampel Desain 1:

#### Array Rooftop Dengan String Inverter

Sistem sampel ini adalah sistem grid-tied 4,5 kW dengan inverter string tunggal. Susunan surya berisi 18 modul yang ditata dalam dua baris fisik masing-masing 9 modul dan dua rangkaian seri yang masing-masing terdiri dari 9 modul. Perhatikan bahwa dalam susunan atap, baris fisik tidak harus ditata sama dengan string listrik; misalnya, Anda dapat memiliki tiga baris yang masing-masing terdiri dari 6 modul dan menghubungkannya sebagai dua rangkaian seri yang masing-masing terdiri dari 9 modul. Area atap kira-kira 32 × 14 kaki, yang menyisakan banyak ruang untuk susunan dan margin pemasangan yang biasanya dibutuhkan oleh departemen bangunan. Berikut adalah langkah-langkah untuk menyelesaikan desain dan mengisi setiap bagian template; nilai sampel diberikan dengan warna biru:



**Gambar 4.5** Pv array layout: 2 baris dari 9 modul masing-masing; orientasi tegak

#### Spesifikasi Listrik Sistem

- Orientasi Modul: Potret Azimuth: 175 ° Kemiringan: Atap Atas 21 °; Atap Bawah 13°
- Peringkat Sistem Tenaga DC: 14 Modul × 315 Watt = 4.410 Watt (DC, sinar matahari puncak)
- 2 Modul PV per YC500A (DC—AC) Mikroinverter => 240 Volt @2,08 Amps (masing-masing keluaran AC)
- 7 Total Mikroinverter YC500A di Sistem 1 Sirkuit Cabang: Pemutus AC 20 Amp

#### Output Sistem Total (P<sub>watt</sub>)

- 4.410 Watt (DC, puncak sinar matahari)
- 6.248 kWh (AC, tahunan)

### Sampel desain 3:

#### Ground-mount, landscape

Sistem contoh ini menunjukkan larik pemasangan di tanah dengan modul dalam orientasi lanskap. Pada 15 kW, ini adalah sistem perumahan yang relatif besar tetapi berbagi banyak fitur dengan sistem atap dasar yang ditunjukkan pada Desain Sampel 1. Kedua sistem menggunakan model modul dan inverter yang sama, membuat sebagian besar perhitungan listrik menjadi sama. Perbedaan utama adalah bahwa sistem besar ini memiliki 10 modul di

setiap seri-string (bukan 9) dan tiga inverter string, bukan satu sehingga setiap kumpulan modul memiliki inverter sendiri.

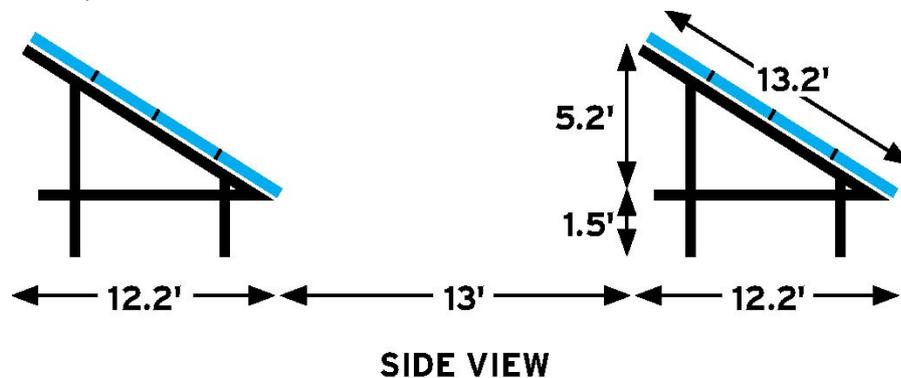
Omong-omong, dengan sistem ground-mount, Anda dapat memilih untuk memasang inverter di bawah bagian belakang setiap baris atau, sebagai alternatif, menjalankan kabel DC di saluran di parit kembali ke rumah. Jelas, ada pro dan kontra untuk setiap pendekatan. Jika inverter dipasang pada array, maka Anda akan menjalankan kabel AC kembali ke rumah. Namun, dalam kasus ini, inverter berada di luar ruangan dan harus berada di dalam selungkup luar ruangan (biasanya diberi peringkat NEMA 3R). Jika inverter terletak di rumah (di garasi atau ruang bawah tanah, misalnya) itu akan keluar dari cuaca, tetapi dalam hal ini Anda perlu menjalankan kabel DC dari array ke inverter, yang mungkin cukup jauh. dan karena itu mungkin memerlukan kawat pengukur berat untuk meminimalkan kerugian tegangan pada jarak itu.

#### Spesifikasi Inverter Dc–Ac

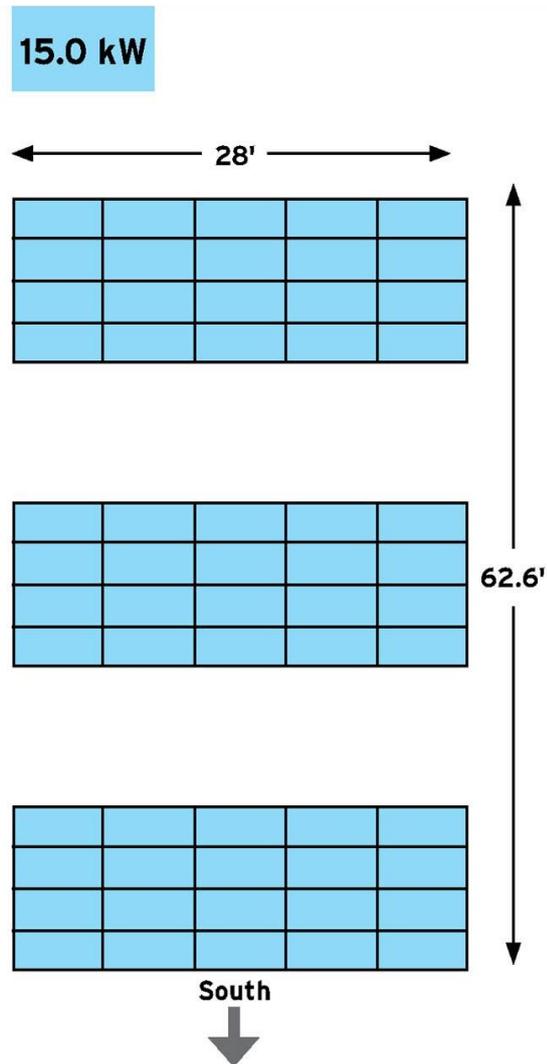
- Pabrikan: Fronius
- Model: IG Plus 5.0
- Rentang Tegangan MPPT: 230–500
- Volt Maks. Tegangan: 600 Volt
- Maks. Arus Masukan DC: 23,4 Amps
- Tegangan Output AC: 208/240/277 Volt

#### Spesifikasi Modul Pv

- Model: Helios 6T-250
- $P_{\max} = 250$  Watt
- $V_{p_{\max}} = 30,3$  Volt
- $V_{oc} = 37,4$  Volt
- $I_{p_{\max}} = 8,22$  Amps
- $I_{sc} = 8,72$  Amps
- Panjang = 66.1 Inchi
- Lebar = 39,0 Inchi



**Gambar 4.6** Jarak dan ukuran pemasangan modul PV



**Gambar 4.7** Layout array pv: 3 baris dari 20 modul masing-masing

Tata Letak Baris: 4 Tinggi × 5 Melintasi

#### Spesifikasi Mekanik

Asumsikan W—E pasca pemisahan 8 kaki

20	# Modul/Baris
3	# Baris
6	# Rel Dasar
28	Panjang Rel Dasar (kaki)
2	# dari Seri-String/Baris
30	# Posting
30	# Rel Modul
13.2	Panjang Rel Modul (kaki) (Hipotenusa)
60	# Klem Akhir
90	# dari Mid Clamps
60	# WEEB
13 Kaki	Jarak Baris ke Baris
6.7 Kaki	Tinggi Baris Puncak di atas Tanah

**Tata Letak Baris:**

4	Tinggi
5	Di seberang

**Spesifikasi Listrik Sistem**

- Orientasi Modul: Lanskap Azimuth: 180° Kemiringan: 23°
- Modul PV 60 x-Si × 250 Watt = 15.000 Watt (DC, sinar matahari puncak)
- 10 Modul per Seri-String => 303.0 Volts @ 8.22 Amps = 2.491 Watt / String (String Voc × 1,25 = 468 Volts) (Ampacity String =13,63 Ampere)
- 2 Senar Paralel per 5kW Inverter => 303,0 Volt @ 16,44 Amps = 4.981 Watt / Inverter  
3 × 5kW DC-ke-AC Inverter => 14.944 Watt (DC, puncak sinar matahari) PVWatt: 21.771 kWh (AC/tahun)

**Output sistem total:**

- 15,00 Watt (DC, sinar matahari puncak)
- 21.771 kWh (AC, tahunan)

**Jarak Baris ke Baris**

Perhatikan bahwa dengan sistem ini, "baris" bukan hanya baris modul yang berdekatan; itu juga mengacu pada seluruh pengelompokan modul pada struktur pemasangan tunggal. Sistem ini memiliki tiga baris larik, masing-masing empat modul tinggi kali lima. Anda akan melihat terminologi ini digunakan dengan spesifikasi untuk spasi baris ke baris dan tinggi baris puncak. Jarak baris-ke-baris yang tepat memastikan bahwa beberapa baris modul tidak saling menaungi. Perhitungan mengikuti aturan 2 1/2 kali yang dijelaskan dalam bab 2 (Lihat disini). Dalam hal ini, jarak minimum ditentukan oleh ketinggian larik (5,2 kaki):

$$5,2 \text{ kaki} \times 2,5 = 13 \text{ kaki}$$

Perhatikan bahwa meskipun tinggi larik di atas tanah (disebut ketinggian baris puncak) adalah 6,7 kaki, tepi bawah semua larik adalah 1,5 kaki di atas tanah untuk mencegah naungan oleh salju atau vegetasi. Hanya ketinggian di atas level ini yang berkontribusi pada bayangan baris-ke-baris. Oleh karena itu, Anda hanya menggunakan tinggi larik bukan tinggi larik di atas permukaan tanah untuk menghitung pemisahan yang diperlukan untuk mencegah bayangan baris ke baris. Aturan 2 1/2 kali mencegah bayangan saat matahari berada di titik terendah di langit (sekitar 21 Desember). Jika Anda kekurangan ruang, Anda dapat memindahkan baris lebih dekat satu sama lain dan hidup dengan sedikit naungan pertengahan musim dingin, atau mengurangi sudut kemiringan untuk memungkinkan baris lebih dekat satu sama lain.

**Perhitungan Array dan Dukungan Utama**

Seperti halnya desain sistem rak atap, Anda akan bekerja dengan produsen struktur pemasangan di tanah untuk menentukan spesifikasi mekanis sistem pemasangan dan menyusun daftar suku cadang. Dengan tata letak lanskap, rel dasar (lihat Merakit Struktur Pemasangan di Tanah di bab 7) berjalan horizontal melintasi tiang penyangga vertikal dan memperpanjang panjang penuh baris larik: dalam hal ini, panjang lima modul, ditambah jarak antar modul (biasanya 1/8 hingga 14 inci). Rel modul dimiringkan pada suatu sudut dan berjalan tegak lurus terhadap rel dasar. Panjangnya sama dengan lebar baris: dalam hal ini,

tinggi empat modul, ditambah jarak antar modul (biasanya 1/4 hingga 1/2 inci) untuk klem tengah dan ruang tambahan apa pun yang diperlukan untuk klem ujung.

#### **Dimensi Array**

Panjang setiap baris larik (dimensi timur-barat) adalah total panjang lima modul, ditambah spasi antara modul yang berdekatan:

$$5 \text{ (seluruh modul)} \times 66,1 \text{ inci (panjang modul)} + \text{jarak modul} = 28 \text{ kaki}$$

Lebar (atau kedalaman) seluruh larik (dimensi utara-selatan) adalah lebar setiap baris larik dikalikan 3, ditambah dua spasi baris ke baris:

$$12,2 \text{ kaki (lebar baris)} \times 3 \text{ (baris larik)} = 36,6 \text{ kaki}$$

$$36,6 \text{ kaki} + 26 \text{ kaki (jarak baris } 13 \text{ kaki} \times 2) = 62,6 \text{ kaki}$$

#### **Jumlah Post**

Bagilah panjang rel dasar dengan jarak tiang (disediakan oleh insinyur profesional, biasanya setelah melakukan uji tanah):

$$28 \text{ kaki (rel dasar)} / 8 \text{ kaki (spasi tiang)} = 3,5$$

(pembulatan ke atas ke bilangan bulat berikutnya: 4)

Tambahkan satu untuk posting akhir tambahan:

$$4 + 1 = 5 \text{ posting per baris posting / rel dasar}$$

$$5 \text{ posting (baris belakang)} + 5 \text{ posting (baris depan)} = \text{total } 10 \text{ posting per baris array}$$

$$10 \times 3 \text{ (baris array)} = \text{total } 30 \text{ posting}$$

#### **Jumlah Rel Dasar**

Hitung dua rel dasar untuk setiap baris larik (satu melintasi tiang belakang, satu melintasi tiang depan):

$$2 \times 3 \text{ (baris larik)} = \text{total } 6 \text{ rel dasar}$$

#### **Jumlah Rel Modul**

Setiap baris array memiliki lima kolom vertikal modul. Setiap kolom membutuhkan dua rel modul:

$$2 \text{ (rel modul)} \times 5 \text{ (kolom)} = 10 \text{ rel per baris larik}$$

$$10 \text{ (per baris)} \times 3 \text{ (baris larik)} = \text{total } 30 \text{ rel modul}$$

#### **End Clamps**

$$4 \text{ (klem ujung)} \times 5 \text{ (lebar modul)} \times 3 \text{ (baris array)} = \text{total } 60$$

#### **Klamp Tengah**

$$6 \text{ (klem tengah)} \times 5 \text{ (lebar modul)} \times 3 \text{ (baris array)} = \text{total } 90$$

#### **Weebs**

$$4 \text{ (2 WEEB per 2 modul)} \times 5 \text{ (lebar modul)} \times 3 \text{ (baris array)} = \text{total } 60$$

#### **Sampel Desain 4:**

##### **Gunung Tanah, Potret**

Sistem ground-mount ini identik dengan Desain Sampel 3, kecuali untuk orientasi modul. Perhatikan bahwa tata letak potret di sini menghasilkan panjang baris 33 kaki (dibandingkan 28 dengan lanskap) dan panjang larik total 52,2 kaki (dibandingkan 62,6 kaki dengan lanskap). Panjang larik yang lebih pendek dengan potret disebabkan oleh tinggi larik yang lebih pendek, yang membutuhkan jarak antar baris yang lebih sedikit (lihat Spasi Baris ke

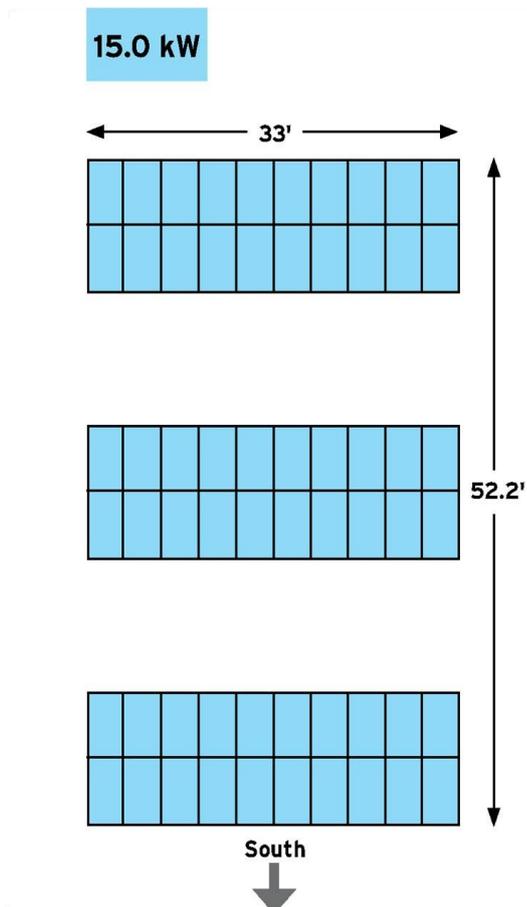
Baris). Perbedaan lainnya terletak pada orientasi rel. Dengan modul dalam potret, rel dasar berjalan pada sudut dari atas tiang belakang panjang ke atas tiang depan pendek (lihat Merakit Struktur Ground-Mount di bab 7). Rel modul berjalan secara horizontal di sepanjang baris, diamankan ke bagian atas rel dasar.

#### Spesifikasi Inverter Dc—Ac

- Manuf.: Fronius
- Model: IG Plus 5.0
- Rentang Tegangan MPPT: 230–500 Volt
- Maks. Tegangan: 600 Volt
- Maks. Arus Masukan DC: 23,4 Amps
- Tegangan Output AC: 208/240/277 Volt

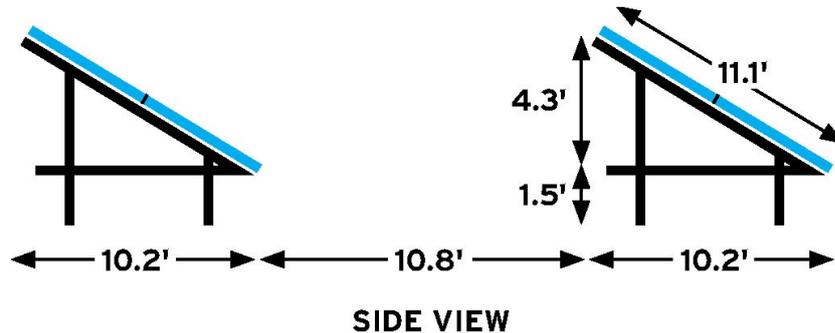
#### Spesifikasi Modul Pv

- Model: Helios 6T-250
- $P_{\max} = 250$  Watt
- $V_{p\max} = 30,3$  Volt
- $V_{oc} = 37,4$  Volt
- $I_{p\max} = 8,22$  Amps
- $I_{sc} = 8,72$  Amps
- Panjang = 66.1 Inchi
- Lebar = 39,0 Inchi



**Gambar 4.8** Layout array pv: 3 baris dari 20 modul masing-masing

Tata Letak Baris: 2 Tinggi × 10 Melintasi



**SIDE VIEW**

**Gambar 4.9** Jarak dan ukuran modul PV

### Spesifikasi Mekanik

Asumsi W—E pasca pemisahan 8 kaki

20	# Modul/Baris
3	# Baris
18	# Rel Dasar
11.1	Kaki Panjang Rel Dasar (Hipotenusa)
2	# dari Seri-String/Baris
36	# Posting
12	# Rel Modul
33 Kaki	Panjang Rel Modul
24	# Klem Akhir
108	# dari Mid Clamps
60	# WEEB
10.8 Kaki	Jarak Baris ke Baris
5.8 Kaki	Tinggi Baris Puncak di atas Tanah

### Tata Letak Baris:

2	Tinggi
10	Di seberang

### Spesifikasi Listrik Sistem

- Orientasi Modul: Potret Azimuth: 180° Kemiringan: 23°
- Modul PV 60 x-Si × 250 Watt = 15.000 Watt (DC, sinar matahari puncak)
- 10 Modul per Seri-String => 303.0 Volts @ 8.22 Amps = 2.491 Watt / String (String Voc × 1,25 = 468 Volt) (Ampacity String = 13,63 Amps)
- 2 Senar Paralel per 5kW Inverter => 303.0 Volt @ 16.44 Amps = 4.981 Watt / Inverter
- 3 × 5kW DC-ke-AC Inverter => 14.944 Watt (DC, sinar matahari puncak) PVWatt: 21.771 kWh (AC/tahun)

### Output sistem total:

- 15,00 Watt (DC, sinar matahari puncak)
- 21.771 kWh (AC, tahunan)

### Perhitungan Array dan Dukungan Utama

Seperti desain ground-mount lainnya (Desain Sampel 3), desain dengan orientasi potret ini mencakup tiga baris masing-masing 20 modul. Modul diatur 2 tinggi kali 10 di setiap baris array. Perhitungan listrik tetap sama.

#### Dimensi Array

Panjang setiap baris larik (dimensi timur-barat) adalah lebar total 10 modul ditambah ruang antara modul yang berdekatan untuk klem tengah dan ruang untuk klem ujung:

$$10 \text{ (lebar modul)} \times 39 \text{ inci (lebar modul)} + \text{jarak modul} = 33 \text{ kaki}$$

Kedalaman seluruh larik (dimensi utara-selatan) adalah lebar setiap baris larik dikalikan 3 ditambah dua jarak baris ke baris:

$$10,2 \text{ kaki (lebar baris)} \times 3 \text{ (baris larik)} = 30,6 \text{ kaki}$$

$$30,6 \text{ kaki} + 21,6 \text{ kaki (jarak baris } 10,8 \text{ kaki} \times 2) = 52,2 \text{ kaki}$$

#### Jumlah Post

Bagilah panjang rel modul dengan jarak pos:

$$33 \text{ kaki (rel modul)} / 8 \text{ kaki (spasi pasca)} = 4,13$$

(pembulatan ke atas ke bilangan bulat berikutnya: 5)

Tambahkan satu untuk posting akhir tambahan:

$$5 + 1 = 6 \text{ posting per baris posting}$$

$$6 \text{ posting (baris belakang)} + 6 \text{ posting (baris depan)} = \text{total } 12 \text{ posting per baris array}$$

$$12 \times 3 \text{ (total baris array)} = \text{total } 36 \text{ posting}$$

#### Jumlah Rel Dasar

Hitung satu rel dasar untuk setiap pasang tiang depan dan belakang:

$$6 \text{ (pasangan per baris larik)} \times 1 \text{ (rel dasar)} \times 3 \text{ (baris larik)} = \text{total } 18 \text{ rel dasar}$$

#### Jumlah Rel Modul

Hitung dua rel modul (masing-masing dirakit dari panjang rel standar) untuk seluruh panjang baris larik (seperti halnya larik atap); setiap baris modul membutuhkan dua rel:

$$2 \text{ (rel modul)} \times 2 \text{ (tinggi modul per baris larik)} = 4 \text{ rel per baris larik}$$

$$4 \times 3 \text{ (baris array)} = \text{total } 12 \text{ rel modul}$$

## 4.5 DIAGRAM LISTRIK SATU BARIS

Diagram satu garis adalah gambar sederhana yang menunjukkan semua elemen listrik dalam sistem PV. Ini adalah persyaratan standar untuk mendapatkan izin untuk instalasi PV. Elemen-elemen diletakkan di lokasi yang benar untuk pemasangan dan dihubungkan oleh garis yang menunjukkan kabel yang akan menghubungkan semua bagian, ditambah garis atau garis tambahan untuk kabel ground sistem. Serangkaian catatan yang memberikan detail spesifik tentang bahan, konstruksi, desain, kode, dan papan nama membantu menjaga diagram tetap bersih dan mudah dibaca.

Departemen bangunan lokal akan memiliki format dan persyaratan sendiri untuk diagram satu garis dan kemungkinan akan memiliki sampel yang dapat Anda ikuti. Sampel yang ditunjukkan di bawah ini adalah diagram satu baris untuk Desain Sampel 1 dan Desain Sampel 2. Elemen umum yang diperlukan untuk diagram satu baris meliputi:

- Nama dan alamat pelanggan dan nama penyedia utilitas

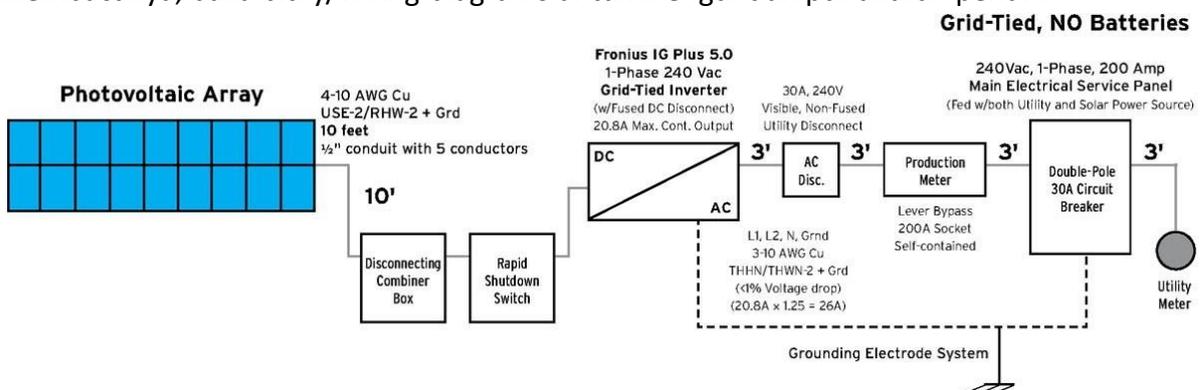
- Semua komponen kelistrikan sistem PV
- Spesifikasi utama untuk modul PV dan inverter
- Spesifikasi saluran dan kabel antara komponen yang berdekatan
- Kotak persimpangan/penggabung
- Putus (DC dan AC)
- Meter (meteran produksi, meteran bersih utilitas)
- Panel servis listrik utama
- Kabel tanah dan spesifikasi



**Gambar 4.10** kru yang sedang melihat konsep pemasangan modul PV

### Diagram Rinci

Diagram rinci yang diilustrasikan ditunjukkan di bawah ini. Jika Anda merasa sulit untuk membaca, putar perangkat Anda untuk dilihat dalam orientasi lanskap dan ketuk dua kali gambar untuk membuka untuk mengisi layar. Gunakan metode cubit dengan dua jari untuk memperbesar. (Fitur ini tersedia di sebagian besar e-reader.) Jika Anda masih tidak dapat membacanya, buka [bit.ly/wiring-diagrams](http://bit.ly/wiring-diagrams) untuk mengunduh pdf ukuran penuh.



**Gambar 4.11** Diagram kabel listrik 1 saluran — sistem pv 4,5 kw dengan inverter string

### Spesifikasi Modul/String

- 18 Modul PV HeliosSolar x-Si 250 Watt (DC, sinar matahari puncak)
- 2 String Paralel dari 9 Modul dalam Seri per String

- $V_{pmax} = 30,3$  Volt => 272,7 Volt/Senar
- $V_{oc} = 37,4$  Volt => 420.8 Maksimum String  $V_{oc}$
- $I_{pmax} = 8,22$  Amps => 16,44 Total Amps (DC)
- $I_{sc} = 8,72$  Amps => 13,63 Ampacity Senar

Sistem: Pekerjaan Tenaga Surya Helios / Sistem Fotovoltaik Fronius

Nama: ABC

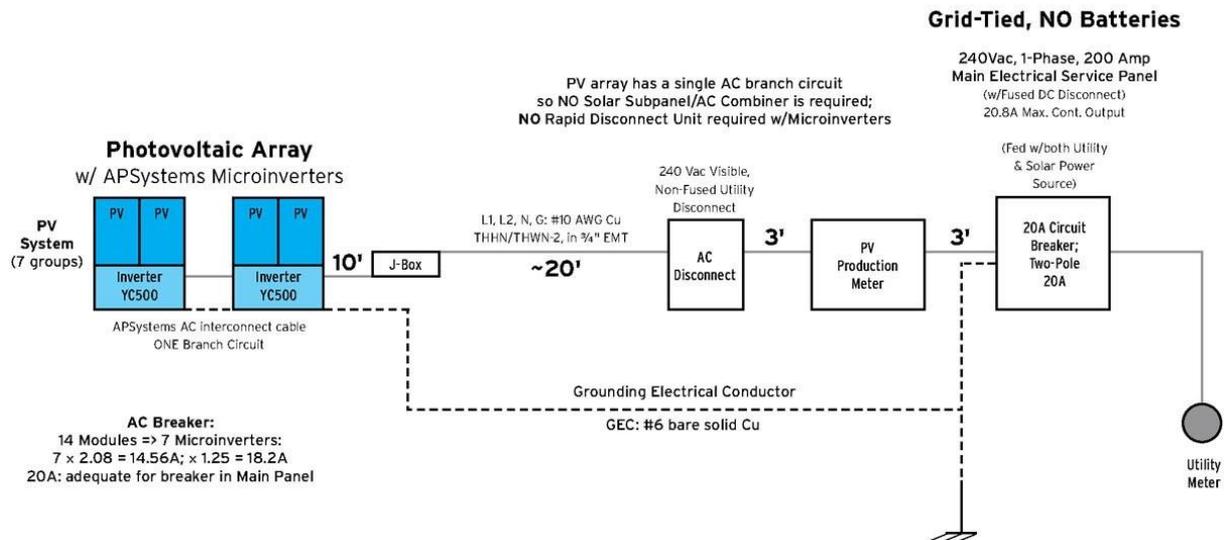
Desainer: BTU, LLC, Lakewood, CO

Pemasang: B.T.U., LLC, Lakewood, CO

Tanggal: 2016

**Catatan:**

- 1) Signage Permanen Minimum (Plakat Kuning, Huruf Hitam):
  - a. Di sampul depan Panel Servis Utama: "PERINGATAN: Panel ini juga dialiri oleh Sumber Listrik Tenaga Surya"
  - b. Pada soket meteran atau yang berbatasan langsung: "PHOTOVOLTAIC SYSTEM CONNECTED"
  - c. Pada pemutusan utilitas yang terlihat: "PV AC DISCONNECT"
- 2) Pengukur Produksi PV:
  - a. Soket meteran mandiri fase tunggal untuk meteran produksi PV utilitas diperlukan untuk bypass tuas
  - b. Pengukur produksi PV mandiri diharuskan memiliki pembangkit PV yang dihubungkan ke terminal sisi-line (bagian atas blok meteran) sehingga meter standar dapat digunakan. Meteran produksi akan dipasang sesuai dengan revisi 1 Maret 2011 dari Standar Energi Xcel, khususnya Bagian 4, halaman 44—47.
  - c. Papan nama: "PV PROD" dan alamat pelanggan (kuningan berstempel, aluminium, atau baja tahan karat)
- 3) Tanda selain yang diberikan pada (1) dan (2) di atas akan menjadi NEC 705.10 sesuai
- 4) Semua komponen — modul PV, penggabung string, GFI, pemutus DC, inverter DC— AC, pemutus AC, dan pemutus utilitas — terdaftar di UL
- 5) perlindungan lonjakan DC di setiap pemutusan DC; Perlindungan lonjakan AC termasuk
- 6) Sistem pentanahan petir dan peralatan terikat bersama
- 7) Interkoneksi pada pemutus sirkuit 30-amp kutub ganda di panel servis utama
- 8) Sistem tidak boleh diuji atau dipasang sampai disetujui oleh utilitas
- 9) Sistem Fotovoltaik akan dipasang sesuai dengan Pasal 690 NEC



**Gambar 4.12** Diagram kabel listrik 1 saluran — sistem pv 4.4 kw dengan microinverter

### Spesifikasi Modul

- 14 Modul Jinko Solar x-Si PV: 315 Watt (DC, matahari puncak)
- 7 Microinverter DC–AC (1 per 2 modul)

### Modul:

- $V_{pmax} = 37,2$  Volt
- $V_{oc} = 46,2$  Volt
- $I_{pmax} = 8,48$  Amps
- $I_{sc} = 9,01$  Amps
- Kapasitas Konduktor: 14,08 Amps

### Spesifikasi Mikroinverter

- Model: APS YC500A
- MPPT: 22–45 Volt
- Maks. Tegangan: 55 Volt Maks.
- Masukan DC: 12 Amps
- Output AC: 240 Volt (AC) 2,08 Amps (AC)

Sistem: Jinko Solar / APSistem Fotovoltaik Sistem

Nama: ABC

Desainer: B.T.U., LLC, Lakewood, CO

Pemasang: B.T.U., LLC, Lakewood, CO

Tanggal: 2016

### Catatan:

- 1) Signage Permanen Minimum (Plakat Kuning, Huruf Hitam):
  - a. Di sampul depan Panel Servis Utama: "PERINGATAN: Panel ini juga dialiri oleh Sumber Listrik Tenaga Surya"
  - b. Pada soket meteran atau yang berbatasan langsung: "PHOTOVOLTAIC SYSTEM CONNECTED"

- c. Pada pemutusan utilitas yang terlihat: "PV AC DISCONNECT"
  - d. Semua Signage (kuningan yang dicap, aluminium, baja tahan karat, plastik terukir) akan sesuai dengan NEC 705.10
- 2) Meteran Produksi PV: a. Pengukur produksi diperlukan, sesuai dengan peraturan Xcel Energy
  - 3) Tanda selain yang diberikan pada (1) dan (2) di atas akan menjadi NEC 705.10 sesuai
  - 4) Semua komponen — modul PV, penggabung string, GFI, pemutusan DC, mikroinverter DC—AC, pemutusan AC, dan pemutusan utilitas — terdaftar di UL
  - 5) perlindungan lonjakan DC di setiap pemutusan DC; Perlindungan lonjakan AC termasuk.
  - 6) Sistem pentanahan petir dan peralatan terikat bersama
  - 7) Setiap interkoneksi sirkuit cabang adalah pemutus sirkuit 20A atau 25A kutub ganda
  - 8) Sistem tidak boleh diuji atau dipasang sampai disetujui oleh utilitas
  - 9) Sistem Fotovoltaik akan dipasang sesuai dengan Pasal 690 NEC

#### 4.6 JENIS KAWAT UNTUK SISTEM PV

Sebagian besar sistem PV perumahan menggunakan tiga jenis kabel yang berbeda: satu jenis untuk larik, satu jenis untuk berjalan di dalam saluran, dan satu jenis untuk kabel ground. Perhatikan bahwa jenis kawat atau kabel tidak sama dengan ukuran konduktor. Konduktor adalah bagian logam dari kawat, tidak termasuk insulasi atau selubung. Kawat listrik dapat berisi satu atau lebih konduktor padat (kawat logam tunggal) atau konduktor terdampar, terbuat dari kabel yang lebih kecil yang dililitkan bersama.

**Jenis** umumnya berkaitan dengan konstruksi kawat atau kabel, menunjukkan bahan (seperti insulasi) dan kesesuaian untuk penggunaan tertentu.

**Ukuran** ditunjukkan oleh pengukur, atau diameter, dari konduktor (tidak termasuk insulasi, selubung kabel, atau bahan lainnya). Di Amerika Utara, sistem pengukur kawat standar adalah American Wire Gauge (AWG). Pengukur kawat menunjukkan kapasitas pembawa arus dari sebuah konduktor. Semakin kecil nomor pengukur, semakin besar diameter kawat.

Bagan di bawah ini menunjukkan jenis utama kawat/kabel dan ukuran yang digunakan untuk sebagian besar sistem PV perumahan. Bekerja samalah dengan ahli listrik Anda untuk menentukan dengan tepat jenis dan ukuran kabel yang akan digunakan untuk sistem Anda (dan diagram satu baris Anda). Anda mungkin harus mengubah jenis dan/atau ukuran kabel saat Anda membuat semua sambungan dari susunan PV ke panel servis listrik utama. Inspektur yang baik kemungkinan akan memeriksa untuk melihat apakah instalasi Anda yang sebenarnya sesuai dengan diagram satu baris Anda sebelum melewati sistem pada pemeriksaan akhir.



**Gambar 4.13** Kawat PV

**Karakteristik:** Konduktor tunggal, kawat berinsulasi untuk paparan luar ruangan. Dinilai untuk 90 ° C (184 ° F) di lokasi basah dan hingga 150 ° C (302 ° F) di lokasi kering. Konduktor tembaga terdampar. selubung yang dilindungi UV. Gunakan merah untuk DC positif (+), hitam untuk DC negatif (-).

**Ukuran Khusus Untuk Pv Perumahan:** 10 AWG

**Dimana Digunakan:** Kabel home run dan koneksi terbuka lainnya untuk array PV. Mungkin lebih disukai daripada USE-2 untuk proses yang terbuka. Tidak perlu dipasang di saluran.



**Gambar 4.14** USE-2

**Karakteristik:** Konduktor tunggal, kawat berinsulasi untuk paparan luar ruangan. Dinilai untuk 90°C (184°F) untuk lokasi basah dan kering. Tembaga padat atau terdampar, aluminium berlapis tembaga, atau konduktor aluminium. selubung yang dilindungi UV.

**Ukuran Khusus Untuk Pv Perumahan:** 10 AWG

**Dimana Untuk Menggunakan:** Alternatif untuk kabel PV tetapi kurang tahan panas. Jenis konduktor padat tidak sefleksibel konduktor kawat beruntai. Tidak perlu dipasang di saluran.

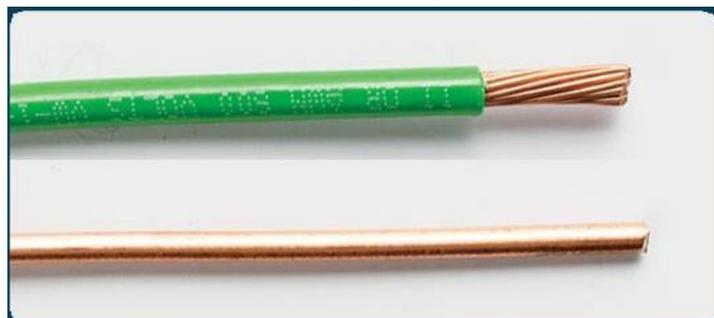


**Gambar 4.15** THWN-2

**Karakteristik:** Kawat berinsulasi dengan nilai 90°C (184°F) untuk lokasi basah dan kering. Padat atau terdampar. Tidak dilindungi UV.

**Ukuran Khusus Untuk Pv Perumahan:** 10 AWG

**Dimana Untuk Menggunakan:** Koneksi dari array ke komponen permukaan tanah, dan antara komponen permukaan tanah. Harus dipasang di dalam saluran.



**Gambar 4.16** Kabel tanah

**Karakteristik:** Kawat ground tembaga. Konduktor padat telanjang (tidak berinsulasi) atau konduktor untai hijau berinsulasi.

**Ukuran Khusus Untuk Pv Perumahan:** 6 AWG

**Dimana Digunakan:** Kawat padat telanjang yang digunakan untuk membumikan bagian logam dari susunan dan untuk lintasan terbuka ke pembumian sistem. Kawat berinsulasi terdampar digunakan di dalam saluran.



**Gambar 4.17** Kabel UF

**Karakteristik:** Kabel pengumpan bawah tanah untuk penguburan langsung. Konduktor tembaga padat.

**Ukuran Khusus Untuk Pv Perumahan:** 10 AWG

**Dimana Digunakan:** Jalur bawah tanah antara susunan ground-mount dan rumah. Dapat dijalankan di dalam saluran, tetapi saluran biasanya tidak diperlukan untuk bagian kabel pada kedalaman penguburan yang ditentukan.

## BAB 5 BERSIAP UNTUK MENGINSTAL

### 5.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

Dapatkan izin, beli peralatan, dan siapkan instalasi dengan desain Anda di atas kertas, Anda siap untuk pindah dari papan gambar ke departemen bangunan, di mana Anda akan menyatakan niat Anda untuk menjadi produsen energi! (Sebenarnya, Anda dapat melakukan ini secara online di banyak tempat, yang mungkin kurang drama tetapi menghemat bensin, belum lagi harus keluar dari piyama Anda.) Langkah terpenting dalam fase ini adalah mendapatkan izin Anda. Tanpa itu, proyek DIY Anda adalah DIW (mati di dalam air). Dengan persetujuan kota (dan utilitas) di tangan, Anda dapat melakukan pembelian peralatan dan mulai mengajukan rabat dan insentif keuangan lainnya. Langkah (persiapan) terakhir adalah merakit kru Anda dan mempersiapkan hari pemasangan (atau akhir pekan pemasangan, setidaknya untuk susunan). Semakin banyak pembantu semakin baik, tetapi tidak harus terlihat seperti pemeliharaan lumbung; dua atau tiga asisten yang kuat dapat membantu Anda melalui bagian yang paling fisik mengangkat dan menempatkan modul.



**Gambar 5.1** pengecekan modul

### 5.2 PERIZINAN DAN INSPEKSI

Memperoleh izin untuk pemasangan PV dapat memakan waktu hanya beberapa jam hingga beberapa minggu. Utilitas mungkin membutuhkan waktu lebih lama untuk menyetujui sistem rabat. Itu semua tergantung pada proyek Anda dan, yang lebih penting, kebijakan pemerintah setempat mengenai instalasi surya. Sementara banyak otoritas telah mengadopsi proses perizinan yang dipercepat, yang lain kurang mengakomodasi energi terbarukan. Jika Anda berurusan dengan yang terakhir, cobalah bersabar, dan ambil pujian karena membantu membuka jalan bagi pemilik rumah masa depan yang, semoga, akan menghadapi lebih sedikit hambatan suatu hari nanti ketika menggunakan solar. Adapun utilitas, mereka diwajibkan oleh

hukum untuk membeli listrik tenaga surya Anda, tetapi mereka tidak diharuskan untuk membuatnya mudah.

### **Paket Izin**

Paket izin adalah dokumen atau kumpulan dokumen dan formulir yang menguraikan informasi yang diperlukan untuk mendapatkan izin bangunan untuk instalasi PV. Dalam beberapa kasus, sebuah paket dapat mencakup aplikasi izin dan semua dokumen pendukung yang diperlukan untuk mengajukan izin. Dalam kasus lain, sebuah paket mungkin hanya berfungsi sebagai daftar periksa untuk membantu Anda menyiapkan aplikasi, dan beberapa dokumen atau formulir tambahan mungkin diperlukan.

Berikut adalah beberapa item umum yang disertakan atau tercantum dalam paket izin PV:

- **Denah lokasi:** Pemandangan udara dari seluruh properti Anda, termasuk jalan akses, jalan masuk, jalur properti, dan orientasi (utara, selatan, dll.).
- **Tata letak susunan:** Gambar sederhana dari area atap atau pemasangan di tanah dan properti sekitarnya yang relevan, menunjukkan susunan tata surya dan tata letak modul, lokasi pemutusan sambungan, inverter, meteran, dan panel servis listrik rumah. Mungkin termasuk penetrasi atap untuk kabel array.
- **Perhitungan beban atap:** Lembar kerja untuk menjumlahkan berat modul dan rak, dipecah menjadi peringkat beban pound per kaki persegi (psf). Dapat mencakup penjelasan tentang rangka atap (kasau/ rangka dengan dimensi jarak) dan atap (atap dengan lebih dari satu lapis atap mungkin memerlukan pemeriksaan dan persetujuan tambahan). Lembar kerja mungkin memerlukan cap insinyur yang mengonfirmasi perhitungan beban. Surat dari arsitek atau pembangun juga mungkin diperlukan untuk sistem PV yang merupakan bagian dari proyek konstruksi baru.
- **Desain pemasangan di tanah:** Detail konstruksi untuk struktur pemasangan di tanah, seperti gambar elevasi, detail pijakan beton/angkur tiang, dan spesifikasi struktur pemasangan. Gambar rekayasa yang dicap sering diperlukan tetapi mungkin dipasok oleh pabrikan pemasangan di tanah.
- **Ketinggian:** Gambar elevasi sederhana, terkadang diperlukan untuk struktur pemasangan di tanah dan untuk sistem atap yang tidak dipasang rata, termasuk sistem atap datar.
- **Izin/persetujuan zonasi:** Paling sering diperlukan untuk struktur pemasangan di tanah dan untuk sistem atap yang tidak standar atau tidak dipasang secara langsung.
- **Gambar insinyur:** Denah yang dicap sering kali diperlukan untuk peringkat angin, salju, dan beban pada susunan atap dan pemasangan di tanah.
- **Diagram kelistrikan satu baris:** Lihat di sini untuk persyaratan umum.
- **Lembar spesifikasi perangkat keras:** Untuk modul, inverter, struktur pemasangan modul, komponen listrik, dan sebagainya.
- **Perhitungan listrik:** Perhitungan tegangan string dan sistem, ampere, dan watt untuk inverter string atau inverter mikro, sebagaimana berlaku.
- **Persetujuan utilitas:** Konfirmasi dari utilitas bahwa itu akan menghubungkan sistem Anda. Seringkali diperlukan sebelum mengajukan izin.

- **Deskripsi** rambu peringatan dan tanda yang diperlukan untuk pemeriksaan akhir, mencatat pemutusan, perangkat mati cepat, keberadaan beberapa sumber daya, dan sebagainya. (Dapat ditunjukkan pada diagram satu garis.)
- **Kredensial ahli listrik:** Termasuk nama, perusahaan, nomor lisensi, dan info kontak tukang listrik Anda. Mungkin juga memerlukan bukti sertifikasi NABCEP untuk tenaga surya profesional di proyek tersebut.

Karena persyaratan dan proses izin bervariasi dari kota ke kota atau kabupaten ke kabupaten, dan satu-satunya yang penting adalah milik Anda sendiri, yang terbaik adalah langsung masuk dan mengunduh salinan paket atau daftar periksa (atau dokumen serupa) dari departemen bangunan setempat. Ini juga saat yang tepat untuk mempelajari tentang biaya perizinan, jadi Anda akan tahu apa yang diharapkan. Biaya, seperti persyaratan perizinan, sangat bervariasi mulai dari di bawah Rp 1.500.000 hingga Rp 4.500.000 atau lebih. Banyak pihak berwenang menilai biaya sebagai persentase dari biaya proyek, seperti yang dilakukan dengan izin perbaikan dan renovasi rumah lainnya.

Setelah aplikasi Anda disetujui dan Anda telah membayar biaya dan memperoleh izin, Anda dapat secara legal mulai menginstal sistem PV Anda. Tentu saja, jika Anda mengikuti rekomendasi dalam buku ini, Anda belum membeli peralatan Anda. Anda dapat mengecat diri sendiri ke sudut jika Anda membeli perangkat keras sebelum semuanya disetujui.

	<b>BUILDING DIVISION</b> <b>Northglenn</b> 11701 Community Center Drive Northglenn, CO 80233 303-450-8745 Fax 303-280-0878	<b>BUILDING PERMIT</b>																					
		<b>Permit Number:</b>	<b>PV16-10053</b>																				
<b>For Inspections call 303-450-8748</b>																							
<b>Date Issued:</b> <b>Job Site Address:</b>																							
<b>Property Owner:</b> <b>Mailing Address:</b>																							
<b>Phone:</b> <b>Parcel ID:</b>																							
<b>Subdivision:</b>		<b>Lot:</b> null	<b>Block:</b>																				
<b>Required Set Backs</b> North / South / Back: East / Right: West / Left:		<b>Filing:</b>	<b>Sq.</b> 0																				
<b>Actual Set Backs</b> North / South / Back: East / Right: West / Left:																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TYPE AND VALUE OF BUILDING</th> <th>FEE ITEMS</th> <th># of Each</th> <th>Amount</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Type: Misc./One Stop</td> <td>Use Tax</td> <td>15000.00</td> <td>\$300.00</td> </tr> <tr> <td>SubType: One Stop</td> <td>Building, Plumbing or HVAC Permit Fee</td> <td>15000.00</td> <td>\$251.25</td> </tr> <tr> <td>Category: PV Solar Permit</td> <td>Plan Review Fee</td> <td>1.00</td> <td>\$163.31</td> </tr> <tr> <td>Valuation: \$15,000.00</td> <td><b>Total</b></td> <td></td> <td><b>\$714.56</b></td> </tr> </tbody> </table>		TYPE AND VALUE OF BUILDING	FEE ITEMS	# of Each	Amount	Type: Misc./One Stop	Use Tax	15000.00	\$300.00	SubType: One Stop	Building, Plumbing or HVAC Permit Fee	15000.00	\$251.25	Category: PV Solar Permit	Plan Review Fee	1.00	\$163.31	Valuation: \$15,000.00	<b>Total</b>		<b>\$714.56</b>		
TYPE AND VALUE OF BUILDING	FEE ITEMS	# of Each	Amount																				
Type: Misc./One Stop	Use Tax	15000.00	\$300.00																				
SubType: One Stop	Building, Plumbing or HVAC Permit Fee	15000.00	\$251.25																				
Category: PV Solar Permit	Plan Review Fee	1.00	\$163.31																				
Valuation: \$15,000.00	<b>Total</b>		<b>\$714.56</b>																				
<b>Plans Reviewed by:</b>																							
<b>Description of Work:</b> Install flush mount PV solar system																							
<b>NOTICE</b>																							
The applicant, his agents and employees of, shall comply with all the rules, regulations and requirements of the City Zoning Regulations and Building Codes governing all aspects of the above proposed work for which the permit is granted. The City or its agents are authorized to order the immediate cessation of construction at anytime a violation of the codes or regulations appears to have occurred. Violation of any of the codes or regulations applicable may result in the revocation of this permit. Buildings MUST conform with the submitted and approved plans. Any changes of plans or layout must be approved prior to the changes being made. Any change in the use or occupancy must be approved prior to commencement of construction. Construction not commenced within 180 days of permit issuance voids this permit. Cessation of work for periods of 180 continuous days shall also void this permit. Permits are not transferable. SAFEbuilt, Inc. and the City of Northglenn are not liable for workmanship.																							
Signature of Applicant/Date		Building Department Signature/Date																					
<b>MUST BE POSTED ON JOB SITE</b>																							

**Gambar 5.2 building permit**

### ***Inspeksi***

Departemen bangunan akan memberi tahu Anda berapa banyak inspeksi yang Anda perlukan untuk proyek Anda dan bagaimana serta kapan menjadwalkannya. Perhatikan baik-baik persyaratan khusus untuk setiap inspeksi untuk memastikan Anda telah menyiapkan segalanya saat inspektur tiba, dan siapkan seluruh paket izin untuk berjaga-jaga jika ia ingin melihat sebagian darinya. Selain menunjukkan kepada inspektur pekerjaan yang telah Anda lakukan, Anda mungkin memerlukan yang berikut ini:

- Izin proyek Anda (terbungkus 82a nisi dan terlihat jelas) dan persetujuan utilitas
- Paket, spesifikasi, dan petunjuk pemasangan pabrikan untuk perangkat keras PV
- Tanda dan label peringatan/keselamatan
- Tangga yang sesuai dengan OSHA diamankan 82a nisi Anda (untuk sistem atap)

Instalasi PV standar biasanya memerlukan dua pemeriksaan pemeriksaan kasar dan pemeriksaan akhir dan terkadang pemeriksaan menengah juga. Jika semua bagian sistem terlihat dan dapat diakses, seperti pada sebagian besar sistem pemasangan di tanah, Anda mungkin dapat menggabungkan pemeriksaan menjadi satu pemeriksaan terakhir.

**Catatan:** Anda mungkin perlu atau ingin membuat perubahan pada desain sistem dan/atau rencana pemasangan setelah Anda mendapatkan izin. Perubahan biasanya diperbolehkan, tetapi Anda harus selalu mendapatkan perubahan yang disetujui oleh departemen bangunan — dengan stempel baru, jika berlaku sebelum melanjutkan dengan rencana baru. Siapkan dokumen baru untuk pemeriksaan akhir. Anda tidak ingin harus memberi tahu inspektur bahwa Anda membuat perubahan sendiri dan gagal mendapatkan persetujuan.

### **Tunjukkan Karyamu**

Seperti guru matematika, inspektur ingin melihat pekerjaan Anda. Oleh karena itu, sebelum Anda memulai pemasangan, penting bagi Anda untuk mengetahui secara pasti kapan harus meminta pemeriksaan. Dengan inspeksi kasar untuk sistem atap, misalnya, inspektur mungkin ingin mengunjungi ketika hanya beberapa modul yang dipasang, sehingga mereka dapat melihat rak, bagaimana modul itu dipasang dan dipasang 82a nisi, dan seterusnya. Jika Anda menutupi apa yang perlu dilihat oleh inspektur, Anda mungkin harus membatalkan beberapa pekerjaan Anda untuk lulus inspeksi. Untuk sistem ground-mount, Anda akan ingin mengambil foto pita pengukur di dalam lubang (dan parit) untuk ditunjukkan kepada inspektur (lihat Bukti Foto).

## **5.3 BELANJA SOLAR**

Untuk 82a nisi<sup>82</sup> dengan sejarah instalasi DIY yang terbatas, pasar peralatan surya ternyata ramah-DIY. Pengecer online telah memudahkan untuk membandingkan produk dan memeriksa spesifikasi pabrikan, dan penetapan harga juga sama mudahnya. Modul dan kit sistem PV dijual secara luas, bahkan melalui tempat-tempat seperti 82a n perangkat keras, pusat rumah, dan pengecer besar online. Tetapi yang terbaik adalah tetap dengan spesialis surya, perusahaan yang sepenuhnya berinvestasi dalam solar dan siap untuk memasok peralatan untuk berbagai proyek, dari perumahan hingga sistem komersial yang lebih besar. Pengecer ini menawarkan banyak pilihan, harga kompetitif, dan staf pendukung yang

berpengetahuan luas yang dapat menjawab pertanyaan teknis Anda. Pengetahuan 83a nisi83 spesialis surya juga akan berguna jika Anda perlu mengajukan klaim garansi dengan produsen.

Itu tidak berarti Anda membeli secara eksklusif dari pengecer online. Sebelum melakukan pembelian besar, Anda juga harus melihat produsen 83a ni, pemasok dan distributor 83a ni, dan bahkan pemasang surya 83a ni. Berikut proses yang disarankan:

1. Belanja online untuk mengetahui pilihan produk dan harga di pasar umum.
2. Cari produsen perangkat keras utama terdekat: modul, rak, inverter. Jika ada yang cukup dekat, Anda bisa mengambil barang sendiri dan menghemat biaya pengiriman. Plus, Anda akan membeli 83a ni dan mendukung 83a nisi83 surya 83a nisi83.
3. Tanyakan tentang harga dan pilihan pengiriman melalui pemasok dan distributor 83a ni. Ini adalah cara untuk menyimpan beberapa dolar Anda secara 83a ni dan dapat mengurangi biaya pengiriman.
4. Bicaralah dengan pemasang surya 83a nisi8383nal setempat tentang membeli peralatan melalui mereka. Mereka mungkin memberikan sebagian dari diskon pro mereka kepada Anda 83a nis tetap mendapat untung dari penjualan. Selain itu, mereka mungkin menawarkan rekomendasi dan saran untuk pemilihan produk Anda serta desain sistem dan tip pemasangan.
5. Tunjukkan rencana desain akhir Anda kepada pemasok untuk memastikan pengiriman perangkat keras Anda akurat (model, ukuran, kuantitas).

### **Saran Pengiriman**

Palet komponen PV yang mahal bukanlah sesuatu yang Anda inginkan untuk diletakkan di tepi jalan, jangan sampai tergesek atau rusak sebelum Anda pulang kerja. Pastikan Anda ada di sekitar untuk menerima semua barang yang dikirim dan untuk memeriksa wadah sebelum Anda menandatangani untuk pengiriman.

**Bersiaplah Untuk Pengiriman Besar.** Siapkan ruang penyimpanan yang aman dan terlindungi (dapat dikunci) untuk komponen PV Anda. Pengemudi pengiriman dapat menurunkan palet Anda tetapi mungkin tidak dapat membawanya ke garasi Anda, jadi bersiaplah untuk memecah kiriman dan membawa semuanya segera. Tanyakan kepada pengirim apakah pengemudi akan memiliki pintu pengangkat dan/atau jack palet untuk menyederhanakan pembongkaran palet dari truk dan, jika mungkin, memindahkannya ke lokasi yang nyaman 83a nisi83.

**Periksa Semua Paket Untuk Kerusakan.** Jika sebuah kotak memiliki sudut hancur, sobek, lubang, atau kerusakan lainnya, foto kotak dari segala arah; ini akan sangat membantu ketika Anda mengajukan klaim barang rusak.

**Periksa Barang Yang Hilang.** Bandingkan label pengiriman produsen dengan label kotak 83a nisi83 pengiriman yang sebenarnya.

**Laporan Semua Barang Yang Rusak Atau Hilang Secepatnya.** Pengecer memberi Anda hanya satu atau dua hari (paling baik) untuk melaporkan masalah pengiriman.



**Gambar 5.3** Kru memeriksa paket

### **Bahan Lokal**

Kemungkinannya adalah, Anda hanya perlu memesan komponen PV utama: modul, struktur pendukung, inverter. Sisa bahan harus tersedia melalui pemasok dan pengecer lokal. Hal-hal seperti sekrup, baut lag, sealant, pengikat kawat, dan odds dan ujung mudah ditemukan di toko perangkat keras atau kotak besar mana pun. Untuk barang yang lebih besar (dan lebih mahal), seperti kabel dan tiang penyangga untuk struktur ground-mount, hubungi rumah pemasok komersial untuk mengetahuinya. Pemasok komersial biasanya menjual ke tukang listrik dan profesional lainnya, tetapi banyak juga yang akan menjual ke nonprofesional yang tahu apa yang mereka butuhkan. Anda mungkin meminta teknisi listrik Anda memasok semua perangkat keras listrik (seperti kotak, pemutus, pemutus, dll.) dan ini mungkin lebih murah daripada membelinya sendiri.

Daftar belanja lokal Anda mungkin termasuk yang berikut:

- Pengencang untuk footer, racking, dan komponen listrik
- Sealant atap (gunakan sealant atap berkualitas tinggi, bukan silikon atau jenis dempul lainnya)
- Bahan untuk pemasangan di tanah (tiang, kerikil, beton, dan barang-barang terkait)
- Kabel dan konektor kabel
- Conduit, bersama dengan klem, fitting, dan flashing/boot (untuk penetrasi atap)
- Kotak listrik, pemutus, pemutus, kotak meteran (tanyakan kepada teknisi listrik Anda)
- Jala atau jaring untuk pemeriksaan makhluk pada array
- Pizza dan bir (untuk kru pembantu; kualitas juga diperhitungkan di sini)



**Gambar 5.4** Kabel

#### **5.4 KEUANGAN SURYA**

Seiring perbaikan rumah, sistem PV dapat dianggap sebagai proyek kelas menengah dalam hal biaya awal. Ini mirip dengan mengganti atap sirap aspal atau mengganti beberapa peralatan utama. Ini memiliki nilai dalam layanan atau perlindungan yang mereka berikan, tetapi hanya sistem PV yang menawarkan pengembalian uang atas investasi Anda dengan menurunkan tagihan listrik Anda selama masa pakai sistem (dan hanya atap yang dapat menyaingi sistem PV untuk masa garansi dan perawatan yang rendah).

Untuk memberikan laba atas investasi (ROI), hal yang Anda investasikan harus meningkatkan nilainya atau menghasilkan sesuatu yang memiliki nilai. Sistem PV melakukan yang terakhir, tentu saja, tetapi ROI yang sebenarnya tidak akan terwujud sampai sistem membayar sendiri; inilah yang disebut sebagai pengembalian.

##### **Perhitungan Pengembalian Cukup Sederhana**

Ada banyak cara untuk menggambarkan pengembalian pada sistem PV, tetapi mungkin yang paling sederhana adalah gagasan bahwa Anda membayar sejumlah tahun listrik di muka. Jika Anda membagi biaya sistem PV (dikurangi rabat dan kredit) dengan penghematan listrik tahunan rata-rata, Anda akan mendapatkan jumlah tahun yang diperlukan sistem untuk membayar sendiri. Setelah periode tersebut habis, listrik Anda sebagian besar gratis (karena hampir tidak ada biaya pemeliharaan) dan oleh karena itu menunjukkan ROI positif. Perhitungan ini bekerja dengan baik jika Anda mempertimbangkan beberapa faktor tambahan. Berikut ini contoh sederhana:

- Anda membayar Rp 1.500 per kWh untuk daya jaringan dan menggunakan rata-rata 8.000 kWh per tahun. Tagihan listrik tahunan Anda adalah Rp 12.000.000. (Jangan hitung biaya layanan utilitas reguler, yang akan berlanjut setelah periode pengembalian modal).

- Anda memasang sistem PV 5 kW untuk menutupi 100% dari penggunaan tahunan rata-rata Anda. Biaya sistem PV Rp 105.000.000 setelah rabat dan kredit (dengan asumsi instalasi DIY). Perhitungan "pengembalian sederhana" adalah:

$$\text{Rp } 105.000.000 : \text{Rp } 12.000.000 = 8.75 \text{ tahun}$$

Namun, inilah mengapa itu bukan gambaran lengkap untuk sebagian besar sistem terkait jaringan: Utilitas biasanya tidak membeli tenaga surya Anda dengan harga yang sama dengan mereka menjual tenaga dari jaringan. Kembali ke contoh kami: Anda membayar Rp 1.500 per kWh untuk daya jaringan, tetapi utilitas hanya membayar Anda Rp 450 per kWh untuk kelebihan daya yang dihasilkan oleh sistem PV Anda. Selama siang hari, ketika Anda menghasilkan lebih banyak daya daripada yang Anda gunakan, Anda mendapatkan kredit moneter sebesar Rp 450 untuk setiap kWh yang Anda hasilkan selama penggunaan Anda. Namun, pada malam hari, saat Anda menggunakan lebih banyak daya daripada yang Anda hasilkan, Anda membayar Rp 1.500 per kWh.

Ini akan menambah biaya listrik tahunan Anda setelah sistem Anda diterapkan, meningkatkan panjang periode pengembalian modal dan berlanjut tanpa batas waktu setelah periode pengembalian modal (dan akan naik dengan tarif utilitas). Anda dapat memperkirakan biaya tambahan dengan melihat penggunaan listrik Anda saat ini untuk setiap bulan dalam setahun dan membandingkannya dengan produksi surya yang diharapkan dari sistem PV Anda untuk setiap bulan.

Misalnya, di setiap bulan Juni, Juli, dan Agustus (dengan hari yang lebih panjang dan penyinaran matahari yang lebih tinggi) Anda menggunakan 400 kWh dan sistem Anda menghasilkan 550 kWh, jadi Anda mendapatkan  $\text{Rp } 450 \times 150 = \text{Rp } 67.500$  per bulan sebagai kredit dari utilitas. Pada akhir musim panas Anda naik Rp 202.500. Mari kita asumsikan September hingga November datar; penggunaan Anda sama dengan produksi surya Anda. Pada bulan Desember, Januari, dan Februari (dengan hari yang lebih pendek dan penyinaran matahari yang lebih rendah), Anda menggunakan 450 kWh setiap bulan dan hanya menghasilkan 300 kWh, jadi Anda membayar  $\text{Rp } 1.500 \times 150 = \text{Rp } 225.000$  untuk daya jaringan ekstra — total Rp 675.000 untuk musim ini. Jika sisa bulan tetap, Anda memiliki biaya tambahan tahunan sebesar  $\text{Rp } 675.000 - \text{Rp } 202.500 = \text{Rp } 472.500$ .

Untuk memasukkan ini ke dalam perhitungan pengembalian (dan ROI), Anda sebenarnya mengurangi Rp 472.500 dari biaya penggunaan tahunan Anda di atas (karena pengembalian didasarkan pada kontribusi sistem PV, sedangkan Rp 12.000.000 asli didasarkan pada biaya utilitas tahunan Anda). Oleh karena itu, periode pengembalian modal Anda dihitung sebagai berikut:

$$\text{Rp } 105.000.000 : \text{Rp } 11.527.500 (\text{Rp } 12.000.000 - \text{Rp } 472.500) = 9.11 \text{ tahun}$$

Contoh ini tidak menunjukkan perbedaan besar, tetapi ini menunjukkan bagaimana Anda dapat berakhir dengan biaya bersih untuk listrik (tidak termasuk biaya bulanan tetap untuk layanan jaringan), bahkan jika sistem PV Anda mencakup 100% dari penggunaan daya tahunan Anda. .

## **Insentif Keuangan**

Strategi untuk mendapatkan insentif finansial untuk membantu mengimbangi biaya sistem PV Anda sederhana: cari tahu apa yang tersedia di area Anda dan lakukan semua yang bisa Anda dapatkan. Anda dapat mengetahui apa yang tersedia di Database of State Incentives for Renewables & Efficiency (DSIRE), daftar terbaru dari federal, negara bagian, kota/lokal, dan program insentif yang disponsori utilitas dan kebijakan untuk produsen energi terbarukan (segera menjadi kamu). Cukup klik negara bagian Anda atau saring pencarian Anda dengan kode pos Anda untuk menemukan program yang mungkin berlaku untuk proyek Anda. Daftar program mencakup informasi ikhtisar dan sorotan persyaratan serta tautan ke situs sponsor resmi.

Program, manfaat, dan kelayakan bervariasi menurut yurisdiksi dan proyek (misalnya, ukuran sistem dapat memengaruhi manfaat), jadi penting untuk mempelajari semua detail dari sponsor program. Tiga dari program terbesar dan paling banyak tersedia adalah rabat utilitas lokal, kredit pajak federal, dan Energi Terbarukan Surya. Sertifikat (SREC), yang semuanya dapat memiliki dampak finansial yang signifikan pada sistem PV Anda.

### **Rabat**

Rabat dapat mengambil banyak bentuk, tetapi jenis yang umum adalah pembayaran satu kali, berdasarkan ukuran sistem Anda, dibayarkan kepada Anda oleh utilitas listrik. Misalnya, jika Anda memasang sistem 5 kW dan jumlah rabatnya adalah Rp 7.500 per watt, total pembayarannya adalah Rp 37.500. Sistem besar dapat dikenakan batasan. Rabat dibayarkan setelah utilitas menerima salinan pemeriksaan akhir yang disetujui untuk sistem Anda.

### **Kredit Pajak Federal**

Kredit Pajak Energi Terbarukan Perumahan diperpanjang oleh Kongres pada tahun 2015 dan berjalan hingga tahun 2021. Ini adalah potongan pajak federal senilai hingga 30% dari total biaya sistem PV baru. Sederhananya, jika total biaya sistem Anda adalah Rp 150.000.000, Anda bisa mendapatkan kredit satu kali untuk pengembalian pajak Anda hingga Rp 45.000.000. Jika kewajiban pajak Anda untuk tahun pertama kredit yang diambil kurang dari jumlah kredit yang memenuhi syarat, Anda dapat membawa sisa kredit ke tahun pajak berikutnya. Program ini akan berakhir pada akhir tahun 2021. Kredit maksimum berkurang menjadi 26% untuk sistem yang diinstal setelah 2019 dan 22% untuk sistem yang diinstal setelah 2020. Anda mengajukan kredit dengan Formulir IRS 5695. Konsultasikan dengan penasihat pajak Anda untuk program detail dan persyaratan.

### **SREC**

*Solar Renewable Energy Certificates* (SRECs) adalah sertifikat yang Anda dapatkan untuk memproduksi listrik yang dihasilkan oleh tenaga surya. Satu SREC diberikan untuk setiap 1.000 kWh (1 megawatt-jam) yang diproduksi. Jika sistem PV Anda menghasilkan 6.000 kWh per tahun, Anda mendapatkan enam SREC tahun itu, atau rata-rata satu setiap dua bulan. SREC diberikan untuk produksi listrik tenaga surya dan tidak ada hubungannya dengan penggunaan rumah tangga Anda. Anda dapat menggunakan listrik di rumah Anda, Anda dapat menjualnya kembali ke jaringan tidak peduli apa yang Anda lakukan dengannya; Anda masih mendapatkan SREC untuk menghasilkan daya.

SREC adalah bagian dari sistem tingkat negara bagian yang melacak produksi listrik tenaga surya untuk memenuhi tujuan energi terbarukan. Sistem, yang dikenal sebagai Renewable Portfolio Standard (RPS), bervariasi dari satu negara bagian ke negara bagian lainnya. Banyak negara bagian memiliki undang-undang yang mengharuskan sebagian listrik yang dihasilkan di negara bagian tersebut berasal dari sumber terbarukan. Untuk memenuhi persyaratan ini, utilitas dapat menghasilkan energi terbarukan mereka sendiri, atau mereka dapat membeli sertifikat energi terbarukan (REC). SREC hanya untuk solar; ada juga REC untuk tenaga angin dan hidroelektrik.

Artinya, SREC Anda memiliki nilai. Berapa nilai tergantung di mana Anda tinggal dan kondisi pasar SREC, yang tunduk pada penawaran dan permintaan. Hanya segelintir negara bagian yang memiliki pasar aktif di mana SREC merupakan komoditas yang diperdagangkan secara publik. Pemilik rumah dengan sistem PV di negara bagian ini biasanya menjual SREC mereka melalui broker atau agregator, pedagang atau perusahaan yang membeli dan menjual REC seperti halnya pedagang saham. Hubungi pemerintah negara bagian atau program energi terbarukan negara bagian Anda untuk mempelajari tentang SREC di wilayah Anda.

Jika negara bagian Anda tidak memiliki pasar aktif, SREC Anda masih memiliki nilai. Anda mungkin dapat menjual SREC di pasar yang mengizinkan kredit di luar negara bagian, tetapi kemungkinan besar Anda akan menjualnya ke utilitas Anda. Salah satu caranya adalah dengan membuat kontrak dengan utilitas untuk jangka waktu tertentu (mungkin 20 tahun) sehingga Anda mendapatkan jumlah yang ditetapkan untuk produksi surya Anda, dibayar dengan cek setiap bulan (atau Anda mungkin diizinkan untuk menggulungnya dan dibayar di akhir di tahun ini). Misalnya, jika Anda menghasilkan 500 kWh listrik dalam sebulan dan tarif kontrak Anda adalah Rp 300 per kWh, perusahaan akan mengirimi Anda cek sebesar Ro 150.000 ( $500 \times \text{Rp } 300$ ) untuk bulan itu. Dalam hal ini, Anda tidak perlu menghasilkan megawatt penuh sebelum mendapatkan bayaran untuk dayanya. Program utilitas bahkan mungkin tidak menggunakan istilah SREC, tetapi sistemnya sama.

Hal terpenting yang perlu diketahui tentang SREC adalah Anda harus mendaftarkan sistem PV Anda agar produksi energi Anda dilacak dan dicatat sehingga Anda dapat menerima kredit. Yang terbaik adalah mendaftar sebelum Anda menginstal sistem Anda, karena pembatasan mungkin berlaku. Untuk beberapa pelanggan utilitas, mengajukan permohonan SREC adalah bagian dari Perjanjian Interkoneksi Utilitas yang Anda selesaikan sebagai bagian agar sistem Anda disetujui oleh utilitas. Hubungi utilitas Anda dan pemerintah negara bagian atau agen energi untuk detailnya. Selanjutnya, utilitas tidak akan memasang meteran bersih atau memberi Anda izin untuk beroperasi sampai Perjanjian Interkoneksi ditandatangani.

## 5.5 MERAKIT KRU ANDA

Meskipun dimungkinkan untuk menginstal sendiri bagian dari sistem PV, Anda memerlukan beberapa pembantu setidaknya selama beberapa hari. Untuk pemasangan di atap, bagian tersulit adalah memasang modul ke atap dan ke rak. Ini bekerja paling baik dengan empat orang dua di tanah dan dua di atap tetapi dapat dilakukan dengan dua orang di atap dan satu pekerja kuat di tanah. Modul memiliki berat masing-masing sekitar 40 hingga 60 pon dan biasanya berukuran lebar 39 inci kali 65 atau 77 inci. Yang terbaik adalah

mengangkatnya ke atap dan memasangnya satu per satu. Itu berarti Anda akan membutuhkan kru lengkap untuk seluruh instalasi modul; rencanakan satu hingga tiga hari, tergantung pada ukuran sistem.

Sebelum memasang modul, Anda memerlukan setidaknya satu pembantu untuk meletakkan dan memasang rak; rencanakan sehari penuh untuk itu juga. Setelah modul terpasang, yang terbaik adalah memiliki setidaknya satu pembantu untuk saluran dan kabel mengalir ke tanah, tetapi ini bisa menjadi pekerjaan satu orang jika perlu. Waktu dan tenaga untuk susunan ground-mount tunduk pada beberapa variabel, termasuk ukuran larik, jenis sistem pendukung, dan lokasi pemasangan. Biasanya, bagian tersulit dari pekerjaan ini adalah menggali lubang untuk pondasi beton untuk tiang dan parit untuk kabel ke rumah. Anda dapat mempercepat pekerjaan dengan menyewa bor listrik untuk pijakan dan parit untuk parit.

Jika Anda akan memiliki banyak pijakan dan/atau penggalian akan sulit (tanah Anda memiliki banyak tanah liat atau batu), persiapan pijakan mungkin memakan waktu dua hari atau lebih. Semakin banyak bantuan yang Anda dapatkan di sini semakin baik, karena ini hanya pekerjaan kasar, tetapi satu orang dapat melakukan penggalian jika perlu. Setelah lubang digali, Anda harus memiliki setidaknya satu pembantu untuk memasang tiang dan tiang beton dan menuangkan pijakan; rencanakan satu hari untuk itu, ditambah tiga sampai empat hari waktu tunggu untuk beton untuk menyembuhkan. Sementara itu, Anda dapat mengerjakan tugas lain, seperti menggali parit untuk kabel bawah tanah.

Setelah beton mengeras, rencanakan untuk memiliki setidaknya satu pembantu selama dua hingga tiga hari untuk membuat rak modul dan memasang modul. Setelah itu, dimungkinkan untuk menyelesaikan instalasi sendiri, tetapi memiliki satu atau dua pembantu akan mempercepat pekerjaan.



**Gambar 5.5** Kru yang cukup makan adalah kru yang bahagia.

## 5.6 KEAMANAN ATAP

Setiap orang yang bekerja di atap Anda harus mengenakan perlengkapan penahan jatuh. Ini adalah satu-satunya cara aman untuk melindungi dari jatuh, dan ini bukan tempat untuk mengambil jalan pintas. Jadi, gigit saja dan beli pengaturan untuk semua orang di kru Anda yang akan berada di atap.

Sistem penahan jatuh dasar mulai dari sekitar \$100 dan termasuk harness; lanyard yang menghubungkan harness ke tali pengaman; tali pengaman; tali ambil, atau koping, yang memungkinkan untuk gerakan naik dan turun tali; dan jangkar atap. Jangkar dipasang dengan paku atau sekrup yang didorong ke kasau atap. Tergantung pada jenisnya, mereka dapat ditempatkan di punggung atap atau di atas kasau apa pun, asalkan jaraknya minimum dari tepi atap (biasanya 6 kaki). Beberapa pemasang suka menempatkan jangkar di sisi berlawanan dari bubungan dari area pemasangan agar tidak menghalangi. Jangkar dapat dirancang untuk instalasi sementara atau permanen, dan kedua jenis dapat digunakan kembali. Jangkar permanen mungkin berguna untuk pemeliharaan dan pembersihan modul di masa mendatang. Pastikan untuk menutup semua pengencang pada jangkar permanen, atau lubang yang ditinggalkan oleh pengencang pada jangkar sementara, untuk mencegah kebocoran atap.



**Gambar 5.6** Pemasangan jangkar didorong ke kasau atap



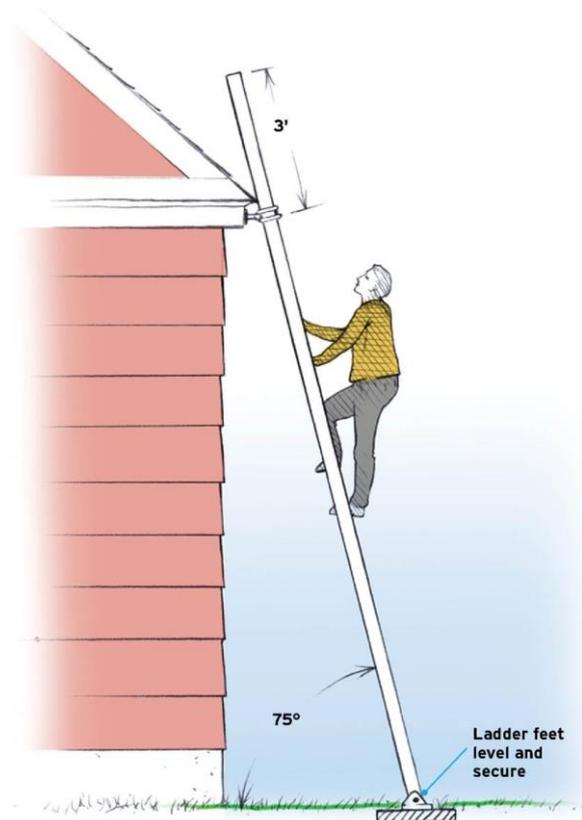
**Gambar 5.7** Bagian dan pengaturan sistem penahan jatuh dasar.

Anda memerlukan sistem yang lengkap untuk setiap pekerja, dan hanya satu orang yang dapat menggunakan satu jangkar pada satu waktu.

## Keamanan Tangga

Pengaturan tangga yang tepat sama pentingnya dengan perlengkapan keselamatan atap. Atur untuk memiliki satu atau dua tangga ekstensi tugas berat untuk semua pekerjaan atap. Anda juga memerlukan tangga untuk digunakan inspektur untuk pemeriksaan kasar (dan Anda dapat bertaruh bahwa inspektur tidak akan suka melihat pekerjaan kayu tua yang reyot). Anda selalu dapat menyewa satu atau dua tangga yang bagus jika Anda tidak ingin membelinya. Ikuti hal-hal penting ini saat menyiapkan tangga apa pun:

- Pastikan kaki tangga sejajar. Ganti tanah yang tidak rata dengan menggunakan kaki tangga yang dapat disesuaikan, atau bangun tanah yang rendah dengan kayu lapis atau balok beton.
- Condongkan tangga pada sudut 75 derajat, atau 1 kaki dari dinding untuk setiap ketinggian 4 kaki.
- Perpanjang tangga setidaknya 3 kaki di atas atap.
- Ikat tangga di mana ia bertemu dengan atap untuk mencegahnya meluncur ke samping. Anda dapat menggunakan kawat, tali yang kuat, atau anyaman yang diikat ke jangkar talang atau diikat ke paku, sekrup, atau baut mata yang ditancapkan ke papan fascia di sepanjang eave.
- Gunakan tangga ekstensi saja. Jangan pernah menggunakan tangga untuk akses atap atau untuk mengangkat material ke atas atap; tangga tidak dapat diamankan dan dapat dengan mudah miring ke samping.
- Untuk susunan pemasangan di tanah, kencangkan tangga Anda ke rel horizontal paling atas.



**Gambar 5.8** Sudut kemiringan tangga yang aman

## 5.7 BAGAIMANA MENDAPATKAN MODUL KE ATAP

Mengangkut modul ke atap satu lantai biasanya bukan masalah besar, karena tepi atap mungkin hanya 9 atau 10 kaki di atas tanah. Dalam hal ini, sebagian besar pemasang hanya mengangkat modul dari tanah, satu per satu, dan menyerahkannya kepada dua pekerja di atap. Sekali lagi, ada baiknya memiliki dua orang di lapangan juga, karena modul tidak ringan (dan tidak murah). Jika atap satu lantai agak terlalu tinggi untuk diangkat dari tanah, Anda dapat menggeser modul ke atas tangga beberapa kaki sampai kru atap dapat mencapainya dengan aman. Waspada bahaya dan ketegangan yang terlibat, dan jangan menaiki tangga lebih tinggi dari beberapa anak tangga. Atau, Anda dapat menyewa satu atau dua scaffolding dan meneruskan modul secara bertahap. Untuk mencegah kerusakan modul, selalu geser modul menghadap ke atas di tangga, dengan bingkai modul bertumpu pada tangga itu sendiri.



**Gambar 5.9** Boom lift adalah penghemat waktu dan kembali yang mungkin tidak lebih mahal daripada perancah.

Atap bertingkat membutuhkan lebih banyak perencanaan. Alat terbaik untuk pekerjaan ini adalah boom lift (juga dikenal sebagai bucket lift, basket lift, atau knuckle lift), yang dapat Anda sewa per hari dengan harga sekitar Rp 3.000.000 hingga Rp 7.500.000 atau mingguan dengan harga sekitar Rp 15.000.000. Lift jenis ini memiliki boom artikulasi yang dapat memanjang dan berputar untuk membawa beban modul tidak hanya ke atap tetapi juga ke atas dan ke atas permukaan atap, sehingga pekerja tidak perlu menurunkan beban dari tepi atap. Jenis termurah kemungkinan adalah model lokasi tetap yang dapat ditarik yang berdiri di atas kaki penyangga. Ini biasanya berfungsi dengan baik, karena Anda tidak memerlukan mobilitas boom tipe traktor penggerak empat roda. Lift boom membutuhkan permukaan yang relatif datar untuk stabilitas dan setidaknya satu orang yang belajar cara mengoperasikannya.

Pilihan lain untuk atap tinggi adalah perancah sewaan. Tingkat perancah standar tingginya hanya sekitar 5 kaki, jadi Anda mungkin memerlukan empat atau lebih tingkat untuk

rumah dua lantai. Dengan opsi ini, tidak ada mesin untuk dioperasikan, tetapi biaya sewanya mungkin tidak jauh lebih murah daripada boom lift, dan Anda akan menghabiskan lebih banyak waktu untuk menyiapkan dan merobohkan perancah. Ini juga merupakan pendekatan manual, yang membutuhkan lebih banyak kekuatan otot. Pastikan untuk mengikuti semua rekomendasi saat mendirikan dan mengamankan perancah sehingga tegak lurus dan stabil serta terlindungi dan diamankan dari terbalik.

## BAB 6

### INSTALASI MEKANIK: ROOFTOP

#### 6.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

Pasang susunan atap, termasuk rak, modul, mikroinverter atau pengoptimal DC (sebagaimana berlaku), dan kabel pembumian.

Kumpulkan kru dan kencangkan tali kekang itu saatnya matahari terbenam! Bab ini memandu Anda melalui pemasangan susunan PV flush-mount standar pada atap miring dengan sirap aspal (komposisi). Ini berlaku untuk sistem grid-tied dan off-grid. (Selain itu, ada ikhtisar pemasangan atap datar di sini.

Instalasi ground-mount tercakup dalam bab 7, tetapi Anda akan kembali ke sini untuk detail modul.) Tentu saja, seperti yang pasti Anda pelajari selama desain sistem, perangkat keras PV tidak sepenuhnya standar. Sementara modul PV relatif dapat dipertukarkan, sistem racking sangat spesifik untuk produk. Setiap pabrikan memiliki doohickies dan teknik khusus sendiri untuk memasang dan meratakan rak, mengamankan modul, membumikan, dan melakukan fungsi penting lainnya. Itu sebabnya panduan Anda yang sebenarnya untuk pemasangan adalah instruksi pabrik dan kode bangunan lokal. Jika Anda memiliki pertanyaan tentang perangkat keras Anda atau bagaimana menggunakannya dengan bahan atap Anda, hubungi pabrikan atau ahli instalasi surya.



**Gambar 6.1** Kegiatan proses pemasangan di atap

#### 6.2 MELETAKKAN RACKING

Fase instalasi array ini terdiri dari tiga tahap:

1. Melengkapi tata letak dasar footer dan rel: memetakan lokasi rak dan modul di atas kertas
2. Menemukan kasau (atau rangka) untuk footer: mengukur lokasi yang tepat dari anggota rangka atap yang akan Anda jangkar
3. Membuat garis kapur dan menandai lubang pilot: membuat garis referensi di atap dan menandai lubang pilot untuk memasang footer

Footer sistem racking Anda ditambahkan ke kasau atap atau rangka dengan sekrup lag. Ukuran, panjang, dan jumlah sekrup lag, serta jumlah footer, mungkin perlu ditentukan oleh seorang insinyur, untuk memenuhi departemen bangunan. Spesifikasi ini didasarkan pada ukuran dan jarak kasau / rangka serta persyaratan kode bangunan lokal untuk beban angin dan salju.

Untuk memastikan koneksi yang kuat, kelambatan harus masuk ke daging bingkai, di tengah kasau. Untuk pemula, cara paling akurat dan sangat mudah untuk menemukan kasau adalah dengan mengukur jarak kasau dari dalam loteng (atau dari dalam rumah, jika Anda memiliki langit-langit berkubah). Pro biasanya menemukan kasau dari atas atap, menggunakan trik tukang kayu tua memalu dan mendengarkan suara yang tepat. Jika Anda tahu bagaimana melakukan ini secara efektif, Anda dapat menggunakan teknik ini sebagai gantinya. Berhati-hatilah untuk memalu hanya di area yang akan ditutupi dengan kilatan, karena pukulan palu keras pada herpes zoster dan Anda akan menginginkan perlindungan ekstra dari kilatan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut dari waktu ke waktu.

Sebelum Anda naik ke atap, pastikan tangga Anda diikat dan semua orang yang bekerja di atap dilengkapi dengan peralatan penahan jatuh (lihat Keselamatan Atap). Jangan pernah bekerja di atap yang licin karena hujan, salju, es, atau puing-puing. Pastikan atap Anda kering dan bersih (tidak ada cabang atau daun pohon) sebelum memulai pemasangan.

#### **Peralatan**

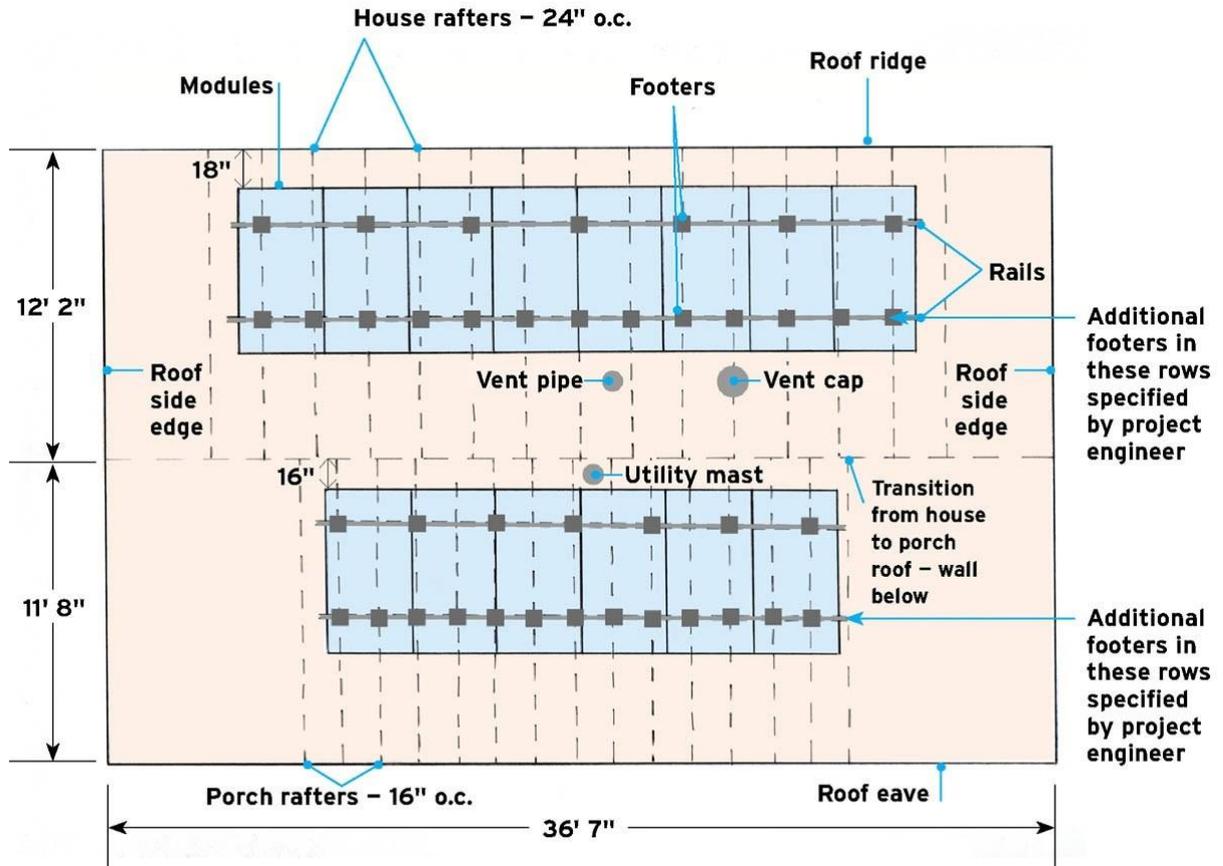
- Pita pengukur
- Mengebor
- Mata bor 14 inci, panjang 12 inci

#### **Bahan**

- Kertas grafik berukuran 1/4 atau 12 inci
- Pensil
- Penggaris
- Kawat lurus atau gantungan baju
- Tape
- Menandai krayon
- Stud finder (untuk langit-langit jadi/berkubah)
- Garis kapur

#### **Menyebarkan Kaki Dan Rel**

- Buat peta atap. Gambarlah peta baru pada kertas grafik berukuran 1/4 - atau 1/2 inci, atau gunakan salinan tata letak larik dari desain sistem Anda. Sertakan dimensi atap dari punggungan ke atap dan dari sisi ke sisi (biasanya barat ke timur). Tandai juga semua kasau; jaraknya tidak harus tepat, tetapi harus menunjukkan jumlah kasau yang benar di area pemasangan. Gunakan salah satu teknik pengukuran dasar yang ditunjukkan dalam Menemukan Kasau untuk menemukan jarak kasau (lihat Dimensi Bingkai, di seberang); kemudian gunakan jarak ini untuk meletakkan kasau di peta Anda. Anda akan mengukur lokasi kasau yang tepat pada tahap tata letak selanjutnya.



Gambar 6.2 Peta atap

### 6.3 TIP DIMENSI FRAMING

Jarak dari kasau, rangka batang, dan bagian rangka lainnya biasanya mengikuti tata letak di tengah (disingkat "oc"), yang berarti mereka diberi jarak sesuai dengan jarak antara pusat satu kasau dan pusat berikutnya (bukan ruang terbuka antara kasau). Sebagian besar kasau diberi jarak 16 atau 24 inci di tengah, sedangkan rangka batang lebih sering diberi jarak 24 inci di tengah.

Baik kasau dan rangka batang biasanya dibuat dengan kayu "2-by" (2x4, 2x6, dll.), yang lebarnya sekitar 1 1/2 inci. Saat Anda mengukur atau menandai tata letak dari permukaan luar kasau, Anda menemukan pusat setiap kasau dengan mengukur lebih dari 3/4 inci dari setiap pengukuran atau tanda tata letak.

- Tambahkan modul. Buat sketsa tata letak modul untuk seluruh larik ke peta Anda. Pertahankan jarak yang diperlukan di punggungan, eave, dan tepi samping atap. Sertakan semua modul, tetapi jangan khawatir untuk membuatnya sempurna; Anda mungkin akan membuat beberapa penyesuaian sebelum menyelesaikan peta. Lihat spesifikasi rak untuk jarak antara modul yang berdekatan di setiap baris (ditentukan oleh klem tengah modul) dan jarak antara modul di baris yang berbeda (biasanya 1/8 inci atau lebih).
- Tambahkan footer dan rel. Tandai lokasi footer di peta, pusatkan masing-masing di atas kasau. Tidak apa-apa untuk memvariasikan jarak untuk mengakomodasi tata letak pamingkian yang sebenarnya, asalkan Anda tidak melebihi rentang maksimum

antara footer yang ditentukan oleh produsen rak, departemen bangunan, atau insinyur. Beri jarak baris footer secara merata, sesuai dengan spesifikasi pabrikan. Biasanya, rel (yang berada di atas footer) harus berada dalam 30% bagian atas/bawah dari panjang modul. Ada juga panjang maksimum yang dapat diperpanjang rel dan modul melampaui footer terluar; ini biasanya 12 hingga 18 inci tetapi bervariasi menurut produsen. Gambarkan rel yang membentang melintasi footer. Tergantung pada jenis klem ujung modul yang Anda gunakan, rel mungkin rata dengan tepi luar modul luar, atau mungkin perlu diperpanjang 1 1/2 inci atau lebih di luar modul untuk mengakomodasi klem ujung.

#### 6.4 MENEMUKAN RAFTER

Gunakan langkah-langkah berikut untuk menemukan kasau di atap Anda. Jika Anda memiliki langit-langit berkubah yang sudah jadi (agar kasau tidak terlihat dari bawah), baca Untuk Plafon Selesai (berlawanan) dengan langkah-langkah berikut.

1. Bor lubang locator. Pengukuran kasau Anda akan dimulai dari lubang pencari yang dibor melalui atap di bagian atas, sudut luar tata letak rak. Dari dalam loteng, identifikasi kasau luar yang akan menerima footer. Ukur ke bawah dari papan punggungan atau puncak rangka atap dan tandai perkiraan lokasi footer pertama ke kasau pertama ini. Bor lubang melalui selubung atap dan atap, menggunakan panjang 14-inci (atau lebih kecil) mata bor, jaga agar mata bor tetap sejajar dengan permukaan luar kasau pertama. Tempelkan sepotong kawat lurus ke atas melalui lubang dan rekatkan kawat ke sisi kasau. Ini akan membantu Anda menemukan lubang dari sisi atas atap. Sebagai alternatif, Anda dapat meminta seorang pembantu menandai lubang dengan krayon.
2. Ukur kasau di baris pertama (paling atas). Kaitkan pita pengukur Anda di permukaan luar kasau pertama dan ukur lurus melintasi kasau secara tegak lurus. Catat lokasi yang tepat dari permukaan luar setiap kasau tempat Anda akan meletakkan footer, catat dimensi pada peta atap Anda.
3. Tandai baris yang tersisa. Kembali ke kasau pertama di mana Anda mengebor lubang starter, ukur (ke arah eave) di sepanjang kasau dan tandai lokasi masing-masing baris footer yang tersisa, sesuai dengan rencana Anda. Di baris bawah, bor lubang lain melalui atap dan tandai lokasinya dengan sepotong kawat lain (atau minta pembantu Anda menandainya di atap). Saat Anda berada di atap, Anda akan memasang garis kapur di antara lubang untuk membuat garis referensi vertikal. Jika kasau melengkung (melengkung ke samping) cukup sedikit, Anda mungkin ingin mengebor lubang tambahan untuk beberapa baris tengah. Kasau pertama ini adalah titik referensi untuk semua pengukuran kasau Anda, dan haluan lebih dari 12 inci atau lebih dapat mengakibatkan hilangnya beberapa kasau dengan sekrup lag footer.
4. Temukan kasau yang tersisa. Ukur melintasi kasau untuk setiap baris yang tersisa, perhatikan lokasi kasau penahan, seperti sebelumnya. Penting untuk mengukur setiap baris karena kasau mungkin tidak sejajar sempurna satu sama lain dan/atau setiap kasau mungkin tidak lurus.



**Gambar 6.3** Pengeboran lubang locator



**Gambar 6.4** Pengukuran kasau baris pertama



**Gambar 6.5** Menandai baris yang tersisa

### Untuk Plafon Selesai

Untuk menemukan kasau di langit-langit berkubah, gunakan stud finder untuk menemukan setiap kasau dan tandai tepi sampingnya. Sebelum mengebor lubang starter Anda, pastikan tidak ada kabel listrik atau pipa ledeng di daerah. Ukur dari lubang starter ke setiap kasau jangkar; kemudian konfirmasi lokasi kasau dengan stud finder. Untuk akurasi lebih, dorong paku kecil melalui drywall pada interval 14 inci untuk menentukan tepi kasau; Anda akan tahu bahwa Anda berada di kasau ketika Anda menabrak kayu.

### Tidak Ada Rafter Di Mana Anda Membutuhkannya?

Terkadang rangka atap tidak sesuai dengan tata letak rak Anda, karena jarak yang tidak konsisten, penetrasi atap, atau modifikasi pada rangka. Solusi standar adalah menambahkan sekat kayu di antara dua kasau di mana Anda membutuhkan titik jangkar. Gunakan kayu rangka yang ukurannya sama dengan kasau (2x6, 2x8, dst.), dan potong sekat agar pas di antara pasangan kasau. Ketuk pemblokiran pada tempatnya dan kencangkan dengan menggerakkan dua sekrup 3 1/2 inci atau dua paku 16d melalui kasau dan ke setiap ujung pemblokiran. Atau, Anda dapat menggunakan kayu 4x4 untuk memblokir, yang memberi Anda sedikit lebih banyak ruang gerak untuk penempatan jangkar.

Tip: Jika Anda merasa perlu memblokir saat memasang rak modul, bor lubang pilot kecil ke bawah melalui bagian atas atap di mana Anda memerlukan titik jangkar. Di dalam loteng, posisikan pemblokiran sehingga terpusat di bawah lubang.

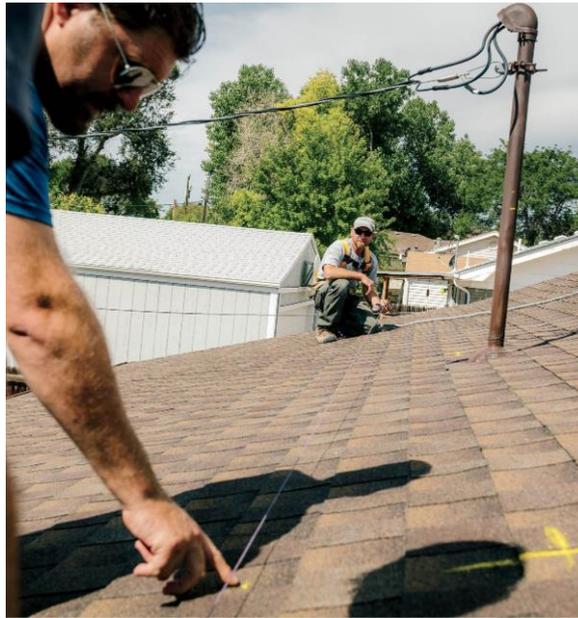
### Menandai Atap

1. Jepret garis vertikal. Di atap, ukur lebih dari 3/4 inci dari setiap lubang starter tata letak array dan buat tanda, yang menunjukkan bagian tengah kasau. Dengan bantuan, pasang garis kapur melalui tanda untuk membuat garis referensi vertikal (bubungan ke atap) yang mewakili pusat kasau jangkar pertama. Jika Anda membuat lubang tambahan untuk mengikuti kasau yang ditebuk, buat garis kapur di antara setiap pasangan lubang yang berdekatan, seperti menghubungkan titik.
2. Jepret garis horizontal atas. Garis horizontal menandai lokasi jangkar untuk footer. Ukur ke bawah dari bubungan atap di kedua ujung tata letak dan tandai ketinggian baris atas footer. Jepret garis kapur melalui tanda untuk membuat garis referensi horizontal, tegak lurus dengan garis kapur vertikal.
 

**Catatan:** Footer harus dipusatkan di atas kasau untuk penahan yang tepat, tetapi seringkali lokasi rel dapat dipindahkan sedikit ke atas atau ke bawah kasau sehingga footer duduk dengan benar di atas sirap (asalkan modul tidak menggantung rel lebih dari 30 % dari panjangnya, atau seperti yang ditentukan). Jika perlu, sesuaikan garis horizontal Anda sesuai kebutuhan sehingga footer berkedip akan duduk rata di atas sirap (lihat di sini).
3. Tandai baris yang tersisa. Ukur ke bawah dari garis horizontal atas untuk menandai lokasi baris footer yang tersisa, ukur di kedua ujungnya untuk memastikan semua garis sejajar. Sesuaikan lokasi baris sesuai kebutuhan untuk mengakomodasi sirap. Jepret garis kapur melalui setiap set tanda.
4. Tandai titik jangkar. Dengan menggunakan dimensi dari tata letak kasau Anda, ukur dari garis kapur vertikal dan tandai lokasi setiap titik jangkar pada garis horizontal.

Karena Anda mengukur lebih dari 3/4 inci dari lubang starter ke tengahkan garis vertikal di atas kasau pertama, Anda tidak perlu melakukannya dengan sisanya; cukup gunakan pengukuran kasau di peta Anda, dan semua tanda Anda akan dipusatkan di atas kasau.

**Catatan:** Melakukan bagian instalasi ini (mengukur dan menandai) secara akurat sangat penting agar susunan PV akhir terlihat lurus dan benar, dengan semua rel dan modul dalam keselarasan yang sempurna.



**Gambar 6.6** Pengukuran horizontal



**Gambar 6.7** Menandai titik jangkar

### **Gambar Sudut Array**

Gunakan krayon penanda untuk menandai dengan jelas keempat sudut susunan (yaitu, sudut luar modul luar) ke atap. Ini akan membantu Anda memvisualisasikan posisi array hingga modul selesai. Ini bisa menjadi pengingat yang sangat berharga, karena Anda akan

melihat pertama kali itu mencegah Anda atau salah satu kru Anda mengebor di tempat yang salah. Anda juga dapat menandai lokasi rel, tetapi gunakan warna kapur yang berbeda untuk membedakan tanda rel dari tanda susunan.

## 6.5 MEMASANG FOOTER DAN REL

Memasang perangkat keras rak itu sendiri sering kali merupakan aspek produk yang paling spesifik dari keseluruhan pemasangan PV. Selalu ikuti instruksi pabrik untuk perangkat keras dan jenis atap Anda. Langkah-langkah yang ditunjukkan di sini mungkin atau mungkin tidak berlaku untuk proyek Anda, tetapi prosedur ini menunjukkan beberapa dasar penting yaitu, mempersiapkan sirap untuk flashing, menyegel sekitar penetrasi, dan mengencangkan baut pada sistem racking.

Diperlukan beberapa alat khusus: palang pengungkit datar atau ripper sirap untuk melepaskan paku dari bawah sirap, dan kunci momen untuk memastikan pengencang cukup kencang tanpa terlalu kencang. Juga pastikan untuk menggunakan sealant atap berkualitas tinggi yang dapat Anda temukan. Jangan gunakan dempul (silikon atau lainnya) atau jenis sealant lainnya yang tidak dirancang khusus untuk atap. Anda dapat membeli semua persediaan ini di toko perangkat keras lokal dan pusat rumah.

### Peralatan

- Mengebor
- Mata bor (ukuran untuk sekrup lag)
- Soket driver bit dan soket (untuk sekrup lag)
- pistol mendempul
- Pry bar datar atau ripper sirap
- kunci pas ratchet
- Torsi kunci pas
- Garis tali
- Balok kayu (2, harus sama tebalnya)

### Bahan

- Komponen sistem rak
- Sekrup lag (ukuran dan bahan ditentukan oleh pabrik pembuat/departemen bangunan/insinyur)
- Sealant atap

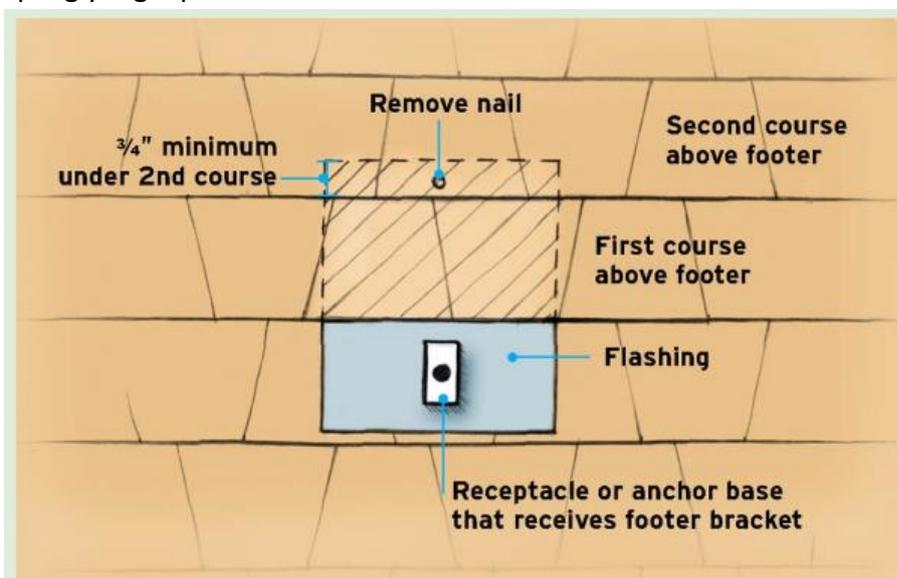
### Menghilangkan Kuku Dari Shingles

Untuk melepas paku, geser paku datar atau ripper sirap (alat seharga \$ 20 yang dirancang untuk tujuan ini) di bawah tepi pantat sirap pertama di atas titik jangkar, memecahkan segel perekat di mana sirap tumpang tindih. Geser palang ke atas di bawah kuku (akan ada sirap di antara palang dan kepala paku) dan putar dan cangkil palang sedikit untuk menaikkan kepala paku sekitar 1/8 inci. Tarik palang, geser di bawah sirap kedua di atas alas, dan cangkil paku secara langsung. Lepaskan paku dan tutup lubang paku dengan sedikit sealant atap.

## 6.6 MENGINSTAL FOOTER DAN FLASHING

1. Bor lubang pilot. Bor lubang pilot melalui atap dan ke tengah kasau di setiap titik jangkar, menggunakan sedikit yang berukuran untuk sekrup lag yang ditentukan. Ukuran umum untuk lag adalah 5/16 inci, yang biasanya membutuhkan lubang pilot 3/16 inci.
2. Pecahkan segel sirap. Herpes zoster aspal memiliki strip perekat di bawah tepi pantatnya yang menempel pada sirap di bawahnya. Saat atapnya panas, perekat seperti tar sangat lembut dan Anda biasanya bisa menggeser flashing melewatinya. Jika tidak, patahkan segel dengan hati-hati dengan batang pengungkit datar. Kilatan harus meluncur ke atas di bawah dua jalur sirap di atas titik jangkar. Lepaskan semua paku yang menghalangi flashing, sesuai kebutuhan (lihat Melepaskan Kuku dari Herpes Zoster, di seberangnya). Ulangi langkah ini saat Anda menginstal setiap bagian dari flashing (langkah 3).
3. Pasang flashingnya. Isi lubang pilot (untuk baut lag footer) dengan sealant atap. Instal footer yang berkedip seperti yang diarahkan oleh pabrikan. Anda mungkin perlu menerapkan sealant atap ke satu atau kedua sisi flashing. Biasanya, kedipan meluncur ke atas di bawah dua jalur sirap di atas alas footer, dan tepi bawahnya dekat atau sedikit di atas tepi pantat sirap tempat ia bersandar. Tip: Gunakan sekrup sebagai pemandu untuk menyejajarkan lubang di flashing dengan lubang pilot.
4. Pasang footer. Posisikan setiap footer dan footer base (sebagaimana berlaku) di atas bagian yang berkedip dan kencangkan dengan sekrup lag melalui lubang di flashing dan ke lubang pilot di atap. Jika footer dapat diatur pada alasnya, biarkan sedikit longgar sehingga Anda dapat memindahkannya sesuai kebutuhan saat memosisikan rel (Anda akan mengencangkan sekrup lag nanti).

**Catatan:** Sekrup lag harus cukup panjang untuk menembus kasau setidaknya jarak minimum yang disyaratkan oleh produsen rak dan departemen bangunan setempat. Seringkali insinyur struktural (jika Anda menggunakannya) akan menentukan ukuran sekrup lag yang diperlukan.



**Gambar 6.8** Panduan pengeobran yang tepat



**Gambar 6.9** Proses Pengeboran



**Gambar 6.10** Pemecahan segel sirap aspal



**Gambar 6.11** Pemasangan flashing



**Gambar 6.12** Pemasangan footer

## 6.7 MERAKIT DAN MENYESUAIKAN REL

1. Pasang rel. Pasang bagian pertama rel ke footer seperti yang diarahkan oleh pabrikan. Biarkan sambungan rel longgar untuk saat ini sehingga Anda dapat menyesuaikan rel nanti. Jika baris lebih panjang dari satu rel, pasang rel kedua ke footer, lalu sambungkan rel menggunakan pelat penyambung atau penjepit yang disediakan. Pastikan untuk meninggalkan celah yang ditentukan di antara bagian rel untuk memungkinkan ekspansi termal ( khas 1/4 inci). Kencangkan sekrup lag pada semua footer di baris. Ulangi proses yang sama untuk merakit semua rel di setiap baris.



**Gambar 6.13** Pemasangan rel pertama ke footer

### Bawah Ke Atas

Sebagian besar ahli instalasi PV memasang rel dan modul dari bawah ke atas, mulai dari dekat eave dan bekerja menuju punggungan. Rel membuat penyangga praktis untuk kaki Anda, peralatan Anda, atau bahkan satu atau dua modul. Hanya saja, jangan menumpuk banyak modul di atap, menciptakan potensi longsoran yang sangat mahal!

- Atur ketinggian rel di ujungnya. Mulai dari footer luar di salah satu ujung rel bawah, posisikan rel sehingga baut pemasangannya secara kasar dipusatkan dari atas ke bawah di lubang memanjang di footer (lubang memanjang memungkinkan untuk penyetelan ke atas atau ke bawah). Kencangkan baut ke pengaturan torsi yang ditentukan. Ulangi dengan footer terakhir di ujung rel yang lain.

**Catatan:** Rel — dan akhirnya modul — dipasang sejajar dengan atap dan pada bidang datar. Mereka tidak harus rata (horizontal sempurna), seperti meja atau meja biliar. Atap tidak selalu rata dari sisi ke sisi. Jika atapnya tidak rata dan modul mengikutinya, mereka akan terlihat baik-baik saja. Jika atapnya tidak rata tetapi modulnya, Anda mungkin melihat perbedaannya dari tanah.



**Gambar 6.14** Pengaturan ketinggian rel pada ujungnya

- Mengatur garis string. Ikatkan seutas tali ke baut lag salah satu footer luar. Tarik garis di sekitar ujung rel dan di atas. Jalankan tali ke ujung rel yang lain dan ikat dengan cara yang sama, pastikan sudah kencang. Selipkan balok kayu di bawah garis di setiap ujungnya (balok harus memiliki ketebalan yang sama; seperti yang ditunjukkan, balok tersebut setebal 3/4 inci) sehingga tali dipegang di atas rel.



**Gambar 6.15** Pengaturan garis string

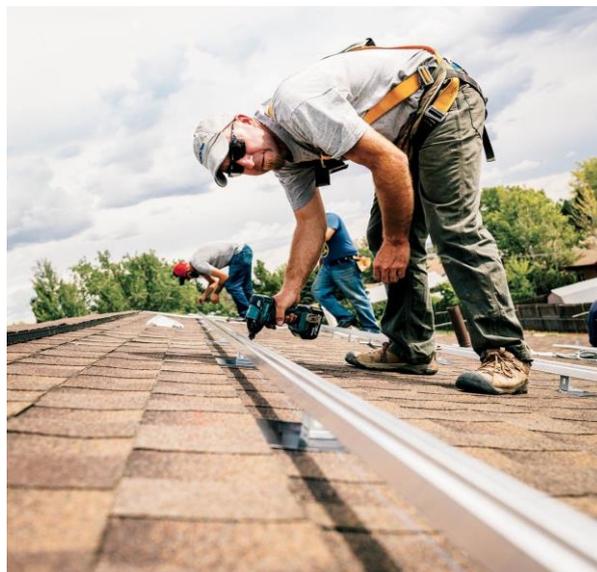
- Luruskan rel. Bekerja dari satu ujung ke ujung lainnya, ukur antara garis tali dan bagian atas rel. Sesuaikan tinggi rel di setiap footer sehingga rel berjarak 3/4 inci (atau berapa pun ketebalan balok Anda) dari garis, lalu kencangkan baut pemasangan rel untuk

mengencangkannya ke footer, putar baut sesuai petunjuk. Ulangi di setiap footer sampai Anda mencapai ujung rel yang lain.



**Gambar 6.16** Pelurusan rel dari satu ujung ke ujung lainnya

5. Luruskan rel yang tersisa. Jika hanya ada satu baris dalam larik (total dua rel), pindahkan garis senar ke rel atas dan ulangi proses yang sama untuk meluruskan dan mengamankan rel atas. Jika ada lebih banyak baris dalam susunan, luruskan dan kencangkan rel paling atas seperti yang Anda lakukan pada rel bawah, lalu ikat tali tali ke rel atas dan bawah sehingga berjalan tegak lurus di atas semua rel. Gunakan teknik pengukuran yang sama untuk memposisikan rel perantara (antara rel atas dan bawah), sehingga jaraknya sama dari garis tali dengan rel atas dan bawah. Ini memastikan bahwa semua rel berada di bidang yang sama.



**Gambar 6.17** Pelurusan rel yang tersisa

6. Periksa semua pengencang. Periksa kembali semua sambungan racking (footer dan rel) sebelum melanjutkan ke pemasangan modul. Mulai dari salah satu ujung rel atas atau bawah, dan turunkan setiap rel atau baris, putar kembali semua mur/baut dengan kunci momen.

## 6.8 MEMASANG MODUL

Setelah footer dan rel berada di tempatnya, disejajarkan, dan diamankan, memasang modul adalah proses langsung untuk merakit komponen prefabrikasi. Langkah-langkah dan teknik bervariasi menurut jenis sistem dan produk spesifik yang digunakan. Prosedur umum melibatkan empat tugas:

- Memasang mikroinverter atau pengoptimal DC (sebagaimana berlaku) ke rel rak atau ke rangka modul (lihat di sini). Dengan beberapa sistem mikroinverter, langkah ini mungkin termasuk mengamankan kabel trunk AC di sepanjang rel (inverter mikro kemudian menghubungkan ke kabel trunk). Dengan sistem string-inverter, mungkin akan lebih mudah untuk memasang kabel rumahan yang panjang di sepanjang rak sebelum memasang modul.
- Modul pembumian (atau pengikatan), rel, dan pengoptimal mikro/DC ke pembumian sistem. Sementara klem modul dan WEEB biasanya mengikat modul ke rel, mengikat rel memerlukan kabel arde terpisah. Inverter mikro mungkin perlu atau mungkin tidak perlu disambungkan ke kabel arde ini, tergantung pada model dan sistem kabelnya.
- Memasang kotak sambungan/penggabung (yang dapat berupa DC atau AC).
- Memasang modul, menghubungkannya bersama-sama saat Anda pergi dan mengamatkannya ke rel dengan klem tengah dan ujung.

### Peralatan

- Kunci pas dan soket ratchet
- Torsi kunci pas
- Pemotong kawat
- Tingkat 4 atau 6 kaki (atau penggaris lurus)
- Gergaji ukir
- Tang hidung jarum

### Bahan

- Lug pembumian
- 6 AWG kawat arde tembaga padat (atau seperti yang ditentukan oleh kode lokal)
- Pengikat kawat tahan UV hitam atau klip kabel luar ruang
- Modul PV
- Klem ujung dan tengah modul
- WEEB (sesuai kebutuhan)
- Tutup rel (sebagaimana berlaku)
- Sistem penyaringan array (opsional)

### Bahan Tambahan untuk Sistem Mikroinverter

- Kotak sambungan AC listrik NEMA 3R

- Kabel trunk AC (satu per sirkuit cabang, sebagaimana berlaku)
- Mikroinverter

#### Bahan Tambahan untuk Sistem String-Inverter

- Melepaskan kotak penggabung DC
- 10 kabel PV AWG (satu kabel dua ujung per seri-string, untuk home run)
- Pengoptimal DC (sebagaimana berlaku)
- Pita listrik
- Penanda

Sistem yang ditunjukkan pada langkah-langkah berikut mencakup inverter mikro yang melayani dua modul (bukan satu) dan terhubung bersama dengan kabelnya sendiri; mereka tidak terhubung ke kabel trunk AC terpisah. Microinverter dan rel diarde/diikat dengan kabel arde tunggal. Detail pengkabelan untuk inverter string dibahas di Home Runs untuk Sistem Inverter String.

#### **Memasang Microinverter (Atau Dc Optimizer) Ke Modul**

Memasang mikroinverter atau pengoptimal DC ke bagian belakang modul disebut pemasangan bingkai dan merupakan alternatif pemasangan rel. Pemasangan rangka, tersedia pada sebagian besar model, terutama digunakan dengan sistem rak tanpa rel dan sistem ballast (atap datar), yang tidak memiliki rel untuk dipasang, tetapi juga dapat digunakan dengan sistem rel konvensional. Biasanya memerlukan braket pemasangan terpisah yang disediakan oleh produsen inverter atau pengoptimal.

Untuk memasang bingkai mikroinverter atau pengoptimal DC, pilih lokasi di mana unit tidak akan mengganggu rel saat modul dipasang. Kencangkan unit ke rangka modul dan putar pengencang seperti yang ditentukan. Hubungkan kabel-kabel dari modul ke mikroinverter atau pengoptimal DC sesuai petunjuk. Saat Anda memasang modul di atap, Anda akan menghubungkan kabel keluar dari mikroinverter satu sama lain atau ke kabel trunk AC; pengoptimal juga akan terhubung satu sama lain.



**Gambar 6.18** Pemasangan bingkai mikroinverter

### Memasang Mikroinverter Dan Kabel Tanah

1. Pasang mikroinverter ke rel. Tandai di mana pusat modul akan jatuh pada setiap rel yang akan menerima inverter mikro (setiap rel lainnya, karena unit hanya dipasang ke satu rel untuk setiap baris modul). Pasang microinverter di setiap tanda, mengikuti petunjuk pabrikan. Biasanya ini melibatkan satu atau dua braket dengan lubang dan baut yang mengikat braket mikroinverter ke rel.



**Gambar 6.19** Pemasangan mikro inverter ke rel

2. Hubungkan mikroinverter bersama-sama. Gabungkan setiap mikroinverter ke yang berikutnya di baris menggunakan konektor pada kabelnya. Sebagai alternatif, jika sistem menyertakan kabel trunk AC, perpanjang setiap kabel trunk di sepanjang rel dengan mikroinverter. Sejajarkan konektor kabel pada kabel trunk dengan mikroinverter sehingga kabel inverter dapat mencapai konektor. Colokkan setiap kabel inverter ke konektor, seperti yang diarahkan oleh pabrikan.



**Gambar 6.20** Menghubungkan setiap mikroinverter dengan konekter

3. Tutup ujung mikroinverter terakhir. Mikroinverter terakhir di setiap baris atau rangkaian cabang akan memiliki kabel yang tidak digunakan, karena tidak ada inverter

lain di saluran untuk dihubungkan. Tutupi kabel ini dengan tutup pemutus yang disediakan oleh pabrikan. Paling hanya pas di konektor utama dan memutar untuk mengunci. Modul pertama di rangkaian baris atau cabang akan terhubung ke kotak sambungan dengan kabel khusus yang memiliki konektor modul di satu ujung dan kabel longgar di ujung lainnya. Kabel trunk AC memiliki tutup terminasi yang serupa; instal ini seperti yang diarahkan oleh pabrikan.



**Gambar 6.21** Tutup ujung saluran mikroinverter terakhir

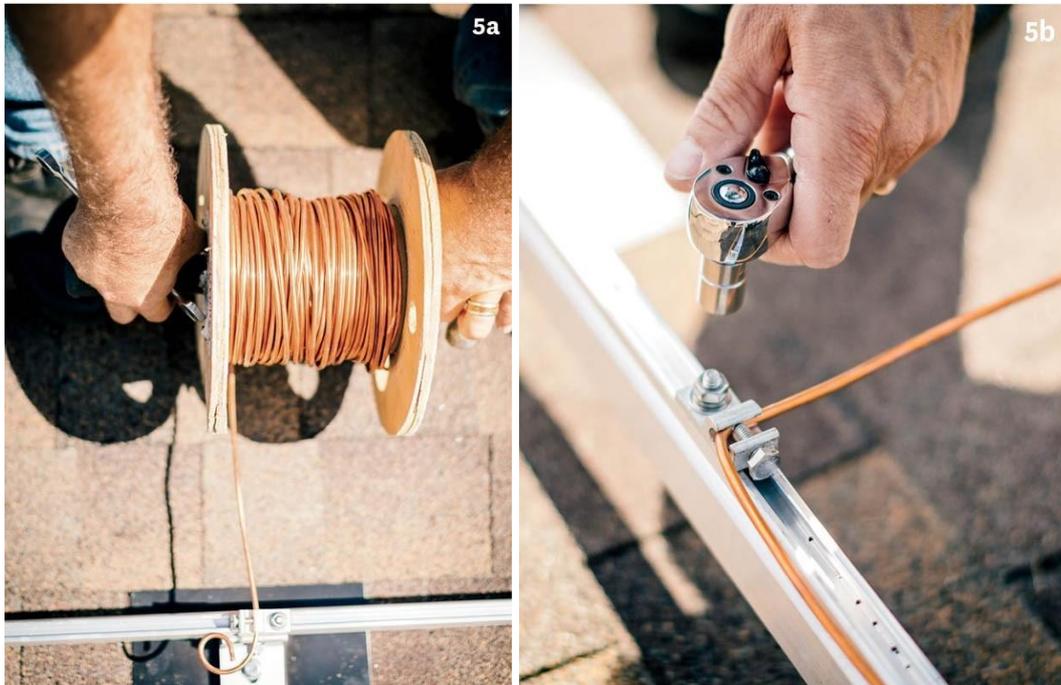
4. Pasang lug pbumian. Pasang lug grounding pada setiap rel, dan torsi seperti yang diarahkan oleh pabrikan. Lug biasanya diatur dalam garis lurus melintang dan tegak lurus terhadap rel untuk menghemat kabel tetapi dapat dipasang di mana saja di setiap rel, sesuai keinginan.



**Gambar 6.22** Pasangkan *lug grounding*

5. Pasang kabel ground. Kencangkan kabel arde tembaga solid 6 AWG ke lug pertama (biasanya pada rel terjauh dari tempat kotak persimpangan/penggabung susunan berada). Kencangkan lug di atas kabel ke pengaturan torsi yang ditentukan. Perpanjang kabel dalam garis lurus ke titik sambungan berikutnya. Kabel ground harus terhubung

ke semua rel. Tip: Lakukan putaran 90 derajat, sesuai kebutuhan, untuk pemasangan yang rapi. Di foto kiri bawah, spiral kunci kecil (dibuat dengan tang setelah kawat diamankan) adalah sentuhan akhir salah satu penginstal di awal pemasangan kawat.



**Gambar 6.23** Pasang kabel ground

6. Ground microinverter (sebagaimana berlaku). Hubungkan kabel arde ke setiap kotak mikroinverter atau braket pemasangan, seperti yang diarahkan. Jalankan kabel ke lokasi kotak persimpangan/penggabung, biarkan cukup longgar untuk pemasangan kabel ke dalam kotak nanti.

**Catatan:** Seperti disebutkan di sini, beberapa inverter mikro dirancang dengan ground internal dan tidak perlu menggunakan kabel ground eksternal. Namun, sistem harus menyertakan kabel arde di semua kabel antara inverter mikro dan ke dalam kotak sambungan. Jika salah satu kabel ini tidak memiliki ground, Anda harus menghubungkan microinverter ke kabel ground eksternal.



**Gambar 6.24** Hubungkan kabel arde ke tiap kotak mikroinverter

7. Ikat kabelnya. Kencangkan kabel ke rel dengan klip kabel atau pengikat kabel (lihat Manajemen Kawat).



**Gambar 6.25** Mengencangkan kabel rel dengan klip kabel

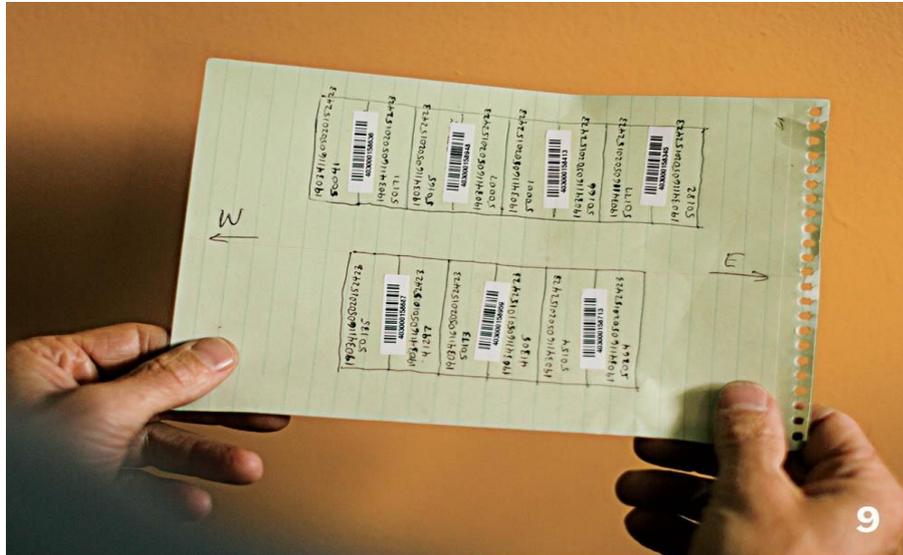
8. Pasang kotak sambungan. Pasang kotak listrik NEMA 3R (di luar ruangan) dengan ukuran yang sesuai ke rel rak atau ke saluran yang terletak di dekat rel (lihat Saluran Saluran Atap). Catatan: Gunakan hanya lubang yang telah dibor dan/atau tab pemasangan untuk mengencangkan kotak ke rel atau saluran; jangan mengebor lubang baru atau mengubah kotak. Jika Anda memiliki sistem inverter string, Anda akan memasang kotak penggabungan pemutus alih-alih kotak sambungan. Ini harus berada dalam jarak 10 kaki dari array untuk memenuhi persyaratan shutdown cepat NEC. Dengan mikroinverter, Anda akan membawa AC ke kotak persimpangan. Dengan inverter string, Anda akan membawa DC ke dalam kotak penggabungan pemutus.



**Gambar 6.26** Memasang kotak listrik NEMA 3R

9. Petakan instalasi. Buat peta atau bagan sederhana dari seluruh larik, catat lokasi dan nomor seri setiap mikroinverter dan modul. Kebanyakan mikroinverter datang dengan

stiker yang dapat Anda lepaskan dan tambahkan ke peta Anda. Catatan ini akan terbukti sangat berharga jika inverter memiliki masalah dan Anda perlu mengetahui di mana letaknya dalam array. Selain itu, inspektur Anda dan/atau utilitas dapat meminta untuk melihat peta.



**Gambar 6.27** Memetakan instalasi

### Sistem Inverter String

Setiap string-seri dalam larik mendapatkan dua kabel home run: satu kabel berjalan dari modul terakhir dalam string dan sepanjang rel kembali ke kotak penggabung; yang lain (biasanya lebih pendek) berjalan dari modul pertama dalam string ke kotak penggabung.

**Catatan:** Jika Anda menambahkan pengoptimal DC ke sistem, Anda akan memasang unit pengoptimal ke rel (mirip dengan pemasangan mikroinverter) dan menghubungkan unit satu sama lain. Modul terhubung ke pengoptimal. Home run untuk string terhubung ke pengoptimal pertama dan terakhir dalam string.

Cara mudah untuk membuat home run adalah dengan menggunakan kabel PV panjang dengan fitting sambungan cepat yang dipasang pabrik di kedua ujungnya. (Fitting biasanya konektor MC4 tetapi harus kompatibel dengan modul Anda.) Perpanjang setiap kabel dari ujung paling ujung setiap string kembali ke kotak combiner. Potong ujung pada kotak penggabung dan gunakan kabel sisa, dengan konektornya, untuk membuat jarak yang lebih pendek dari ujung dekat senar ke kotak penggabung. Rencanakan dengan hati-hati sehingga Anda memiliki fitting yang tepat di ujung senar: jika modul terakhir akan memiliki pemeran utama wanita untuk menghubungkan ke home run, mulailah home run itu dengan fitting pria, dan sebaliknya.

Beri label pada ujung home run pada kotak combiner, menggunakan pita listrik berwarna terang dan spidol. Tetapkan nomor untuk setiap senar seri, dan catat nomor senar dan apakah kabel terhubung ke kabel modul positif (+) atau negatif (-). Gunakan pita warna yang tidak merah atau hijau. Merah biasanya berarti positif (+), dan hijau biasanya menunjukkan ground, pada instalasi listrik standar.

**PERINGATAN:** Biarkan kabel home run terputus sampai akhir pemasangan sistem PV. Jangan sambungkan kabel home run ke modul saat modul dipasang. Modul menghasilkan listrik dalam kondisi siang hari apa pun. Membiarkan kabel ini terputus adalah cara terbaik untuk memastikan keamanan hingga instalasi sistem selesai.

**Catatan:** Dengan sistem mikroinverter, modul dan mikroinverter boleh disambungkan ke kabel trunk AC, karena inverter tidak mengeluarkan listrik kecuali sistem PV terhubung ke jaringan utilitas.

### Menginstal Modul

1. Posisikan modul pertama. Atur modul pertama ke rel di salah satu ujung baris (jika array memiliki banyak baris, mulailah dari baris bawah). Pasang dua klem ujung dan tengah ke rel, menggunakan washer WEEB, jika perlu (lihat Mengardekan Modul dan Rak Anda). Ukur untuk memastikan bahwa modul berada di tengah atas-ke-bawah dan persegi terhadap rel. Hubungkan kabel modul ke mikroinverter yang dipasang di rel atau pengoptimal DC, jika ada. Jika Anda memiliki mikroinverter yang dipasang di bingkai, sambungkan mikroinverter ke kabel saluran AC, sebagaimana berlaku.



**Gambar 6.28** Proses penginstalan modul pertama ke rel

2. Posisikan modul kedua. Atur modul kedua pada tempatnya dan tempelkan pada modul pertama dengan klem tengah (dengan WEEB, sebagaimana berlaku) di antaranya. Sejajarkan tepi bawah dari dua modul pertama, menggunakan level 4 atau 6 kaki (hanya sebagai penggaris, bukan sebagai level). Kencangkan kedua modul dengan klem tengah, dan kencangkan baut klem seperti yang ditentukan oleh pabrikan. Hubungkan kabel seperti yang berlaku.

**Catatan:** Karena WEEB dipasang dua untuk setiap dua modul, Anda akan menempatkan WEEB di bawah setiap pasangan klem tengah lainnya, dan di bawah klem ujung pada baris dengan jumlah modul ganjil.

- Mikroinverter (dipasang di rel): Hubungkan kabel modul kedua ke mikroinverter (inverter mikro sudah terhubung bersama atau ke kabel trunk).

- Microinverter (frame-mounted): Hubungkan microinverter bersama-sama atau ke kabel AC trunk (modul sudah terhubung ke microinverter).
- Inverter string tanpa pengoptimal DC: Hubungkan modul pertama + kabel ke modul kedua – kabel, atau sebaliknya (ingat Anda memasang kabel secara seri).
- Inverter string dengan pengoptimal DC yang dipasang di rel: Hubungkan setiap modul + dan – ke unit pengoptimalnya sendiri (pengoptimal sudah terhubung bersama).
- Inverter string dengan pengoptimal DC yang dipasang di bingkai: Hubungkan pengoptimal modul pertama ke pengoptimal modul kedua (modul sudah terhubung ke pengoptimal).



**Gambar 6.29** Menghubungkan antar pengoptimal modul

3. Lanjutkan ke bawah baris. Instal lebih banyak modul di baris, menggunakan teknik yang sama dan menambahkan WEEB sesuai kebutuhan. Periksa keselarasan setiap modul dengan level. Saat baris selesai, ada baiknya untuk melihat seluruh baris dari berbagai sudut dan dari tanah untuk memastikan modul sejajar secara visual dengan atap. Penjajaran visual, seperti yang terlihat dari tanah, lebih penting daripada penjajaran yang tepat dan kesejajaran pada rel.



**Gambar 6.30** Melanjutkan pemasangan modul pada bawah baris

4. Lengkapi baris. Kencangkan modul luar di setiap ujung baris dengan sepasang klem ujung, menggunakan WEEB, sebagaimana berlaku. Putar kembali semua klem di baris. Catatan: Ingatlah untuk meminta pemeriksaan kasar Anda pada waktu yang ditentukan, berdasarkan apa yang ingin dilihat oleh inspektur dari modul dan rak.



**Gambar 6.31** Mengencangkan modul luar dengan sepasang klem ujung

**PERINGATAN:** Jangan sambungkan kabel home-run ke modul (sistem inverter string). Biarkan mereka terputus sampai akhir instalasi sistem PV, ketika mereka dapat dihubungkan oleh, atau di bawah bimbingan, ahli listrik Anda. Modul menghasilkan listrik dalam kondisi siang hari apa pun (rangkaiannya menghasilkan tegangan tinggi yang berbahaya). Membiarkan kabel ini terputus adalah cara terbaik untuk memastikan keamanan hingga instalasi sistem selesai.

5. Pasang modul yang tersisa (sebagaimana berlaku). Jika ada beberapa baris dalam larik, pasang modul di baris berikutnya dari bawah, menggunakan teknik yang sama seperti sebelumnya. Pertahankan jarak minimum yang ditentukan pabrik di antara baris (biasanya 1/8 inci atau lebih). Lihat baris saat Anda pergi untuk menjaga modul tetap sejajar. Lengkapi baris yang tersisa, lalu potong rel menjadi panjang, seperti yang ditentukan, menggunakan gergaji ukir atau gergaji bolak-balik. Tutupi ujung rel dengan penutup dari pabrik, jika ada. Tambahkan penyaringan untuk menutup ruang di bawah modul untuk mencegah binatang, jika diinginkan (lihat Bukti-Bukti-Larik Anda). Terkadang ujung rel dicat semprot agar sesuai dengan warna bingkai modul.

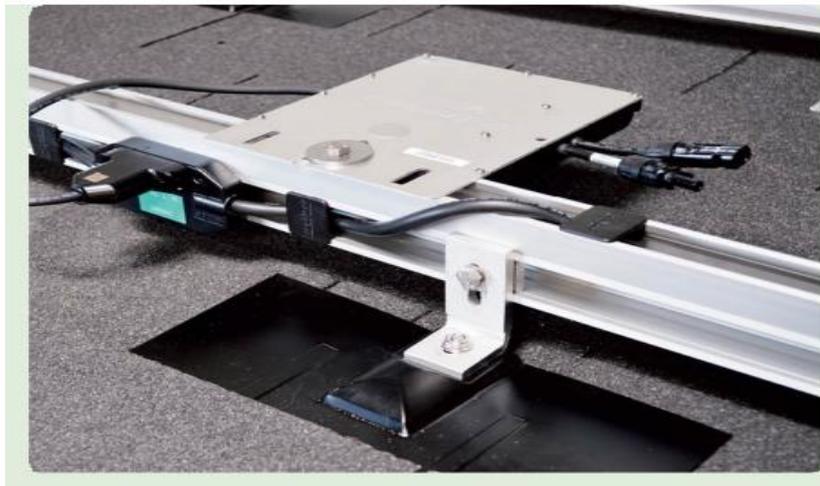


**Gambar 6.32** Pemasangan modul yang tersisa

### Manajemen Kawat

Kerapian adalah salah satu ciri kualitas pada pekerjaan listrik apa pun, tetapi ini sangat penting untuk sistem PV. Kabel yang menggantung terlihat buruk bahkan jika Anda tidak dapat melihatnya dari tanah, Anda akan tahu bahwa mereka ada di sana, dan inspektur Anda mungkin tidak menyukainya. Mereka juga rentan untuk mengumpulkan kotoran dan puing-puing dan rentan terhadap kerusakan dari salju dan es yang meluncur. Pastikan kabel tidak menjuntai dari modul atau rel dan tidak menyentuh atap. Sebagai aturan praktis yang baik, Anda harus dapat melihat di bawah array Anda dan tidak melihat kabel di bawah tepi bawah rel modul.

Untuk membantu menjinakkan dan melindungi kabel, beberapa sistem rak memiliki rel dengan saluran untuk meletakkan kabel. Pabrikan rel juga menawarkan potongan tutup untuk menutup saluran jika ada celah besar di antara modul. Jika rel Anda tidak memiliki saluran untuk manajemen kawat, kencangkan kabel ke rel dengan klip kawat luar ruangan atau pengikat kawat plastik hitam tahan UV (dasi ritsleting).



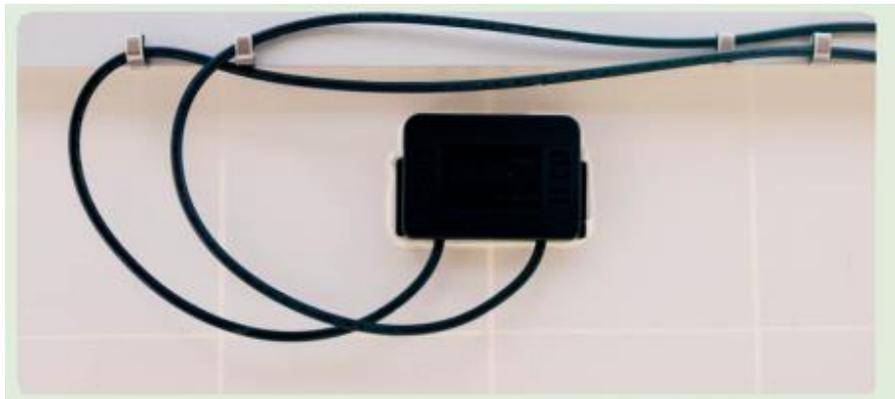
**Gambar 6.33** Rel dengan saluran menawarkan pemasangan terbersih. Saluran terbuka di bagian atas tetapi hampir seluruhnya tertutup oleh modul.



**Gambar 6.34** Ikatan kawat plastik dapat membungkus seluruh rel dan berguna untuk mengikat gulungan kawat.



**Gambar 6.35** Klip rel (biasanya dipasang oleh rak atau pabrikan mikroinverter) kencangkan langsung ke rel.



**Gambar 6.36** Klip kawat untuk rangka modul membantu menjinakkan kabel modul yang panjang. Ini biasanya logam atau plastik, berukuran 1/4 inci.

## 6.9 MENGINSTAL SISTEM ATAP DATAR

Sistem atap datar ballast menawarkan keuntungan yang bagus dibandingkan sistem atap miring: Anda tidak perlu mencari dan memasang jangkar ke kasau. Sebagian besar instalasi mengikuti proses assemble-as-you-go. Berikut ini ikhtisar langkah-langkah dasar (detail penginstalan dapat sangat bervariasi dari sistem ke sistem):

1. Tempelkan garis kapur ke atap untuk mewakili tepi depan baris pertama. Posisikan dua braket modul depan pada garis. Tempatkan dua braket untuk bagian belakang modul, beri jarak sesuai dengan ukuran modul. Jika akan ada beberapa baris dalam larik, gunakan braket belakang tipe konektor. Jika hanya akan ada satu baris, gunakan braket belakang standar. Bobot braket dengan masing-masing satu blok pemberat (blok beton), sebagaimana berlaku. Catatan: Beberapa sistem menyertakan baki logam untuk balok pemberat; yang lain mungkin memerlukan bahan pelindung antara balok dan atap.
2. Atur modul pertama ke braket, dan sesuaikan braket sesuai kebutuhan. Tambahkan klem ujung modul dan klem tengah ke braket. Catatan: Karena tidak ada rel, inverter mikro dan pengoptimal DC dipasang di bingkai ke modul sebelum memasang modul (lihat di sini)

3. Posisikan dan timbang dua kurung berikutnya; kemudian tambahkan modul kedua. Amankan kedua modul dengan klem modul. Hubungkan modul/inverter mikro/pengoptimal DC bersama-sama secara elektrik sesuai kebutuhan untuk jenis sistem. Lanjutkan proses yang sama untuk menyelesaikan baris pertama.  
**PERINGATAN:** Jangan sambungkan kabel home run ke modul untuk sistem inverter string (lihat PERINGATAN di sini).
4. Mulailah baris berikutnya di belakang baris pertama. Jarak antar baris secara otomatis diatur oleh kurung konektor. Lengkapi baris yang tersisa dalam array. Untuk baris terakhir, gunakan braket belakang standar (bukan braket konektor) untuk menopang tepi belakang modul.
5. Selesaikan pemasangan kabel arde dan pra-pengkabelan AC/DC sesuai desain sistem.
6. Pasang panel deflektor angin ke belakang dan braket konektor, sebagaimana berlaku. Tambahkan blok pemberat sesuai kebutuhan untuk memenuhi spesifikasi desain. Spesifikasi harus mencakup jumlah, berat, dan lokasi balok pemberat untuk kemiringan tertentu dan beban angin dan salju.

## BAB 7

### INSTALASI MEKANIK: GROUND- MOUNT

#### 7.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

Bangun struktur ground-mount dan pasang modul PV, microinverter atau pengoptimal DC (sebagaimana berlaku), dan kabel ground untuk melengkapi susunan.

Bab 6 membahas pemasangan seluruh susunan PV untuk sistem atap. Bab ini melakukan hal yang sama untuk ground-mount, menunjukkan kepada Anda bagaimana hal-hal berbeda untuk sistem di terra firma. Setelah rel modul dipasang pada struktur pendukung tanah utama, Anda akan merujuk ke bab 6 untuk pemasangan modul (dan prapengkabelan), yang akan sama seperti untuk sistem atap. Banyak dari apa yang terjadi pada tahap ini khusus untuk peralatan Anda, orientasi modul Anda, dan situs instalasi Anda. Pastikan untuk mengikuti instruksi pabrik dan kode bangunan lokal untuk setiap aspek proyek Anda. Kami akan membahas proses dasar dan memandu Anda melalui bagian tersulit dari sebagian besar pemasangan pengaturan tiang tetapi detail konstruksi dan urutan langkah harus berasal dari instruksi pabrik dan gambar rencana. Tahapan utama dari proses ini adalah memasang tiang di beton, merakit rak penyangga, dan menambahkan modul. Mari kita hancurkan!

#### 7.2 MENGATUR POSTINGAN DUKUNGAN

Memasang tiang vertikal untuk struktur ground-mount standar sangat mirip dengan memasang tiang pagar atau meletakkan tiang beton untuk proyek dek. Metode yang andal (dan murah) adalah menggunakan garis tali untuk meletakkan lubang dan memposisikan tiang. Garis senar paling berguna saat diikat ke papan adonan, rakitan sederhana dari dua pancang kayu vertikal dengan potongan melintang horizontal. Setelah Anda memasang sepasang papan adonan di setiap sudut area pemasangan, Anda mengikat senar dan membuatnya rata dan persegi. Senar akan memandu lubang dan penempatan pasak Anda, dan papan adonan memungkinkan Anda untuk melepas dan memasang kembali senar sesuai kebutuhan tanpa harus memeriksa ulang apakah sudah rata atau persegi.

Contoh proyek ini untuk dua baris pos vertikal sebaris pos pendek di depan dan sebaris pos panjang di belakang. Langkah-langkah proyek mengikuti proses standar untuk memasang tiang di beton sebelum merakit sisa struktur ground-mount. Metode alternatif yang merupakan opsi dengan beberapa sistem adalah dengan memasang struktur pendukung utama sebelum memasang tiang. Hal ini membuat pemosisian tiang lebih mudah dan sering kali merupakan pilihan yang baik ketika strukturnya berukuran dapat diatur, tetapi secara keseluruhan memerlukan jumlah pekerjaan yang hampir sama dengan metode konvensional.

**PERINGATAN:** Tandai saluran utilitas Anda sebelum melakukan penggalian. Hubungi 811 untuk memberi tahu hotline nasional “Panggil Sebelum Anda Menggali”. Operator akan memberi tahu semua penyedia utilitas di wilayah Anda. Setiap perusahaan yang memiliki garis terkubur di properti Anda diharuskan untuk keluar dan menandainya dalam jangka waktu tertentu, biasanya dua hingga tiga hari. Semudah itu, dan semuanya gratis. Ini juga dapat menyelamatkan Anda dari kontak mematikan dengan saluran gas atau listrik atau saluran

pembuangan yang berbau mematkan — jika Anda membutuhkan lebih banyak insentif untuk menelepon.

#### Peralatan

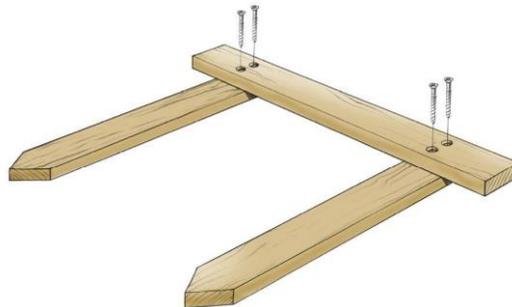
- Palu atau bor
- palu godam
- tingkat garis
- Garis tali
- Alat penggali (sekop, penggali lubang pos, bor listrik, batang penggali, sesuai keinginan)
- penanda
- Tingkat
- Kamera
- Gergaji reciprocating atau gergaji potong
- Alat pencampur beton
- Sekop batu

#### Bahan

- 2x4 kayu (masing-masing 6 @ 8 kaki)
- 2 paku atau sekrup kayu berukuran 1/2 inci
- Selotip
- Jadwalkan 40 pipa air galvanis (atau bahan lain, seperti yang ditentukan oleh pabrikan atau insinyur)
- Taruhan kayu 1x2 atau 1x4 kayu 1 sekrup kayu 1/2 inci
- Lakban
- Kerikil
- Campuran beton

#### Instruksi

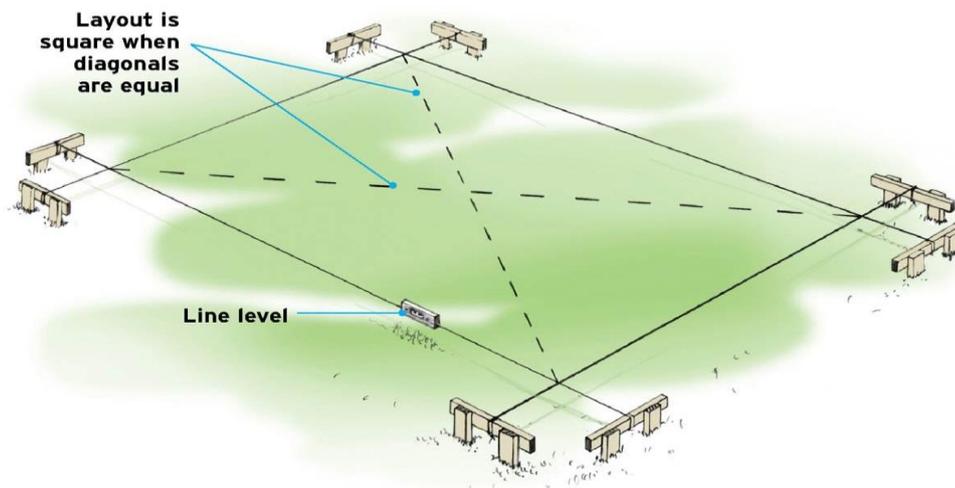
1. Bangun papan adonan. Bangun delapan papan adonan dengan kayu 2x4 dan paku atau sekrup 2 1/2 inci. Potong kaki vertikal dengan panjang 24 inci, potong satu ujung ke satu titik. Kencangkan potongan melintang 24 inci di bagian atas kaki sehingga kaki sejajar dan potongan melintang tegak lurus dengan kaki.



**Gambar 7.1** Papan adonan dengan kayu 2x4 dan paku atau sekrup 2 ½ inci

2. Mengatur garis string. Dorong sepasang papan adonan ke tanah, pada sudut kanan satu sama lain, di setiap sudut area pemasangan. Ikat empat panjang tali senar ke

papan adonan untuk membentuk persegi panjang. Senar harus menyilang sekitar 2 kaki dari papan adonan. Kuadratkan garis dengan mengukur diagonal di antara sudut yang berlawanan, gerakkan senar sesuai kebutuhan hingga pengukuran diagonal sama. Ratakan setiap senar dengan level garis, ketuk salah satu papan adonan sesuai kebutuhan untuk menyesuaikan. Tandai posisi setiap senar pada palang yang diikat; ini menunjukkan kepada Anda di mana harus mengikat kembali senar tanpa kehilangan tata letak persegi.



**Gambar 7.2** Pengaturan garis string

3. Gali lubang tiang. Setelah senar berbentuk persegi dan rata, ukur dari sudut tata letak senar, dan tandai setiap lokasi tiang dengan selotip dan spidol, mengikuti gambar pabrikan. Dengan menggunakan auger atau penggali pasak, gali lubang pasak tepat di bawah tanda. Jika diinginkan, Anda dapat melepaskan tali di salah satu ujungnya sehingga tidak menghalangi. Gali lubang dengan diameter dan kedalaman yang ditentukan oleh pabrikan ground-mount dan kode bangunan setempat atau insinyur proyek. Lubang harus memanjang di bawah garis es untuk area Anda. Ini juga merupakan ide bagus untuk menambahkan kedalaman 4 hingga 6 inci untuk kerikil drainase.

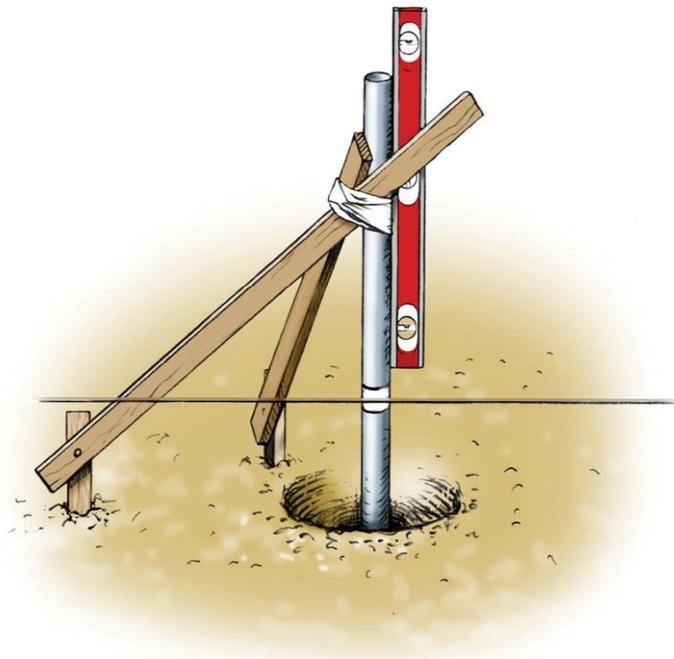
#### Bukti Foto

Saat lubang digali, ambil foto meteran Anda yang mencuat dari lubang; inspektur mungkin menginginkan bukti kedalaman lubang. Jika bagian atas pijakan tidak terlihat, foto juga pita yang melewati lubang, untuk menunjukkan diameternya.



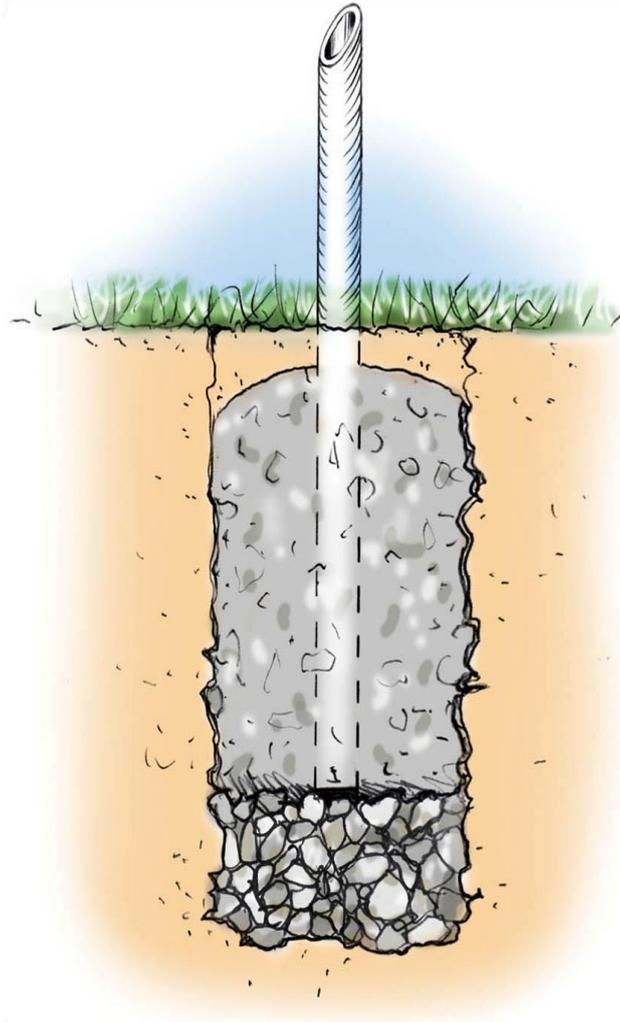
**Gambar 7.3** Ambil foto ketika meteran mencuat dari lubang

4. Atur dan kencangkan tiang. Tambahkan 4 hingga 6 inci kerikil ke setiap lubang dan padatkan dengan potongan 2x4 atau tamp tangan. Retie string tata letak, jika perlu. Potong setiap tiang memanjang dengan gergaji reciprocating atau gergaji potong. Tandai tiang pada ketinggian yang diperlukan relatif terhadap garis senar. Misalnya, jika tiang harus berdiri 3 kaki di atas tanah, dan garis senarnya 1 kaki di atas tanah, tandai tiang 2 kaki dari ujung atas. Pasang setiap tiang pada lubangnya, dan tambahkan atau hilangkan kerikil sesuai kebutuhan sampai tanda ketinggian pada tiang sejajar dengan garis senar. Biarkan tiang duduk di lubangnya saat Anda memasang dua tiang di tanah untuk setiap tiang dan memasang penjepit 1x2 atau 1x4 ke setiap tiang. Tempatkan setiap tiang di dalam lubang, tegakkan dengan rata, dan kencangkan di tempatnya dengan mengencangkan ujung penjepit yang longgar ke tiang dengan lakban. Ini membantu untuk memiliki asisten untuk menguatkan posting.



**Gambar 7.4** Pengencangan tiang dengan potongan 2x4

5. Tambahkan beton. Isi lubang tiang dengan beton. Anda dapat mencampur kantong beton di gerobak dorong atau bak pencampur. Untuk proyek besar, mungkin layak untuk memesan beton siap pakai dari pemasok lokal (hubungi pemasok untuk detailnya; mereka mungkin memiliki ukuran pesanan minimum atau mengenakan biaya tambahan untuk sebagian meter beton). Anda dapat mengisi lubang sehingga beton rata dengan atau sedikit di atas permukaan tanah, atau biarkan sekitar 4 inci di bawah permukaan tanah jika Anda ingin menumbuhkan rumput di atasnya. Gunakan sekop untuk memiringkan bagian atas beton menjauh dari tiang untuk meningkatkan drainase. Biarkan beton sembuh selama tiga sampai empat hari, tergantung cuaca; kemudian lepaskan penyangga.



**Gambar 7.5** Pengisian lubang dengan beton

### **Gunungan Tiang Anchoring**

Sistem ground-mount single dan multiple-pole memiliki titik jangkar yang relatif sedikit, sehingga biasanya membutuhkan tiang penyangga yang lebih besar dan pondasi beton yang lebih besar daripada ground-mount konvensional. Langkah-langkah dasar untuk memasang tiang dan beton serupa, tetapi fondasi beton besar mungkin memerlukan tulangan internal (seperti struktur tulangan), dan Anda mungkin ingin memasang saluran di beton sehingga Anda dapat menjalankan kabel melalui fondasi, daripada harus saluran terbuka di atas. Dimungkinkan juga untuk memasang batang pentanahan (sebelum beton dituangkan) sehingga muncul melalui pondasi. Pondasi untuk tiang tiang biasanya harus dirancang oleh seorang insinyur untuk disetujui oleh departemen bangunan. Struktur untuk array besar sebaiknya diserahkan kepada profesional.



**Gambar 7.6** Sistem ground-mount

### 7.3 MERAKIT STRUKTUR GROUND-MOUNT

Proses perakitan tipikal dimulai dengan memasang rel dasar melintasi tiang vertikal. Ini diikuti oleh rel modul dan, akhirnya, modul. Beberapa sistem juga menyertakan penyangga silang antara barisan depan dan belakang tiang vertikal dan/atau antar tiang pada baris yang sama. Struktur dalam langkah-langkah yang ditunjukkan di sini dirancang untuk larik dengan orientasi lanskap. Ini berarti bahwa rel dasar horizontal dan rata dan berjalan paralel di sepanjang bagian atas barisan tiang depan dan belakang. Jika modul Anda akan berada dalam orientasi potret, rel dasar akan tegak lurus terhadap baris tiang dan akan miring ke atas dari tiang depan ke belakang, seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

#### Peralatan

- Kunci pas ratchet
- Torsi kunci pas
- Gergaji reciprocating atau gergaji potong
- File logam
- penari telanjang kawat

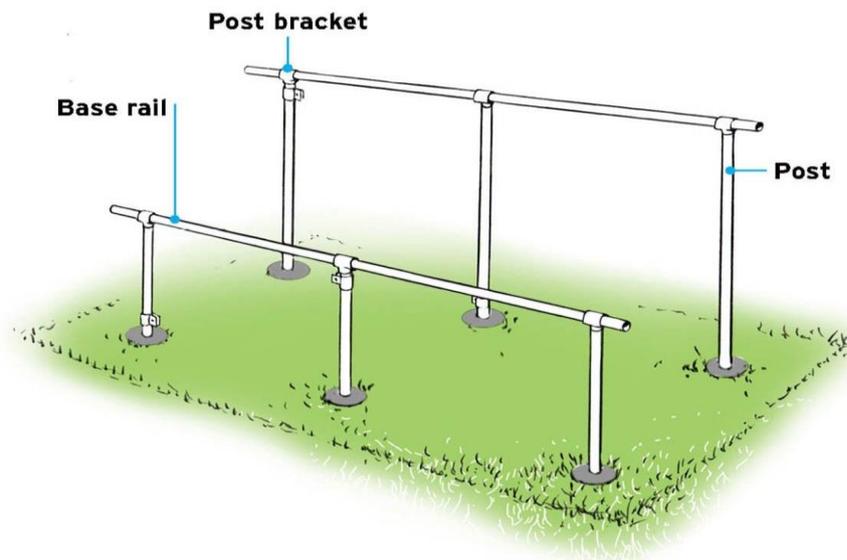
#### Bahan

- Rel dan perangkat keras sistem pemasangan di tanah
- Kawat arde dan lug
- Modul dan klem modul

- Combiner atau kotak persimpangan
- Kabel home run/kabel sirkuit cabang

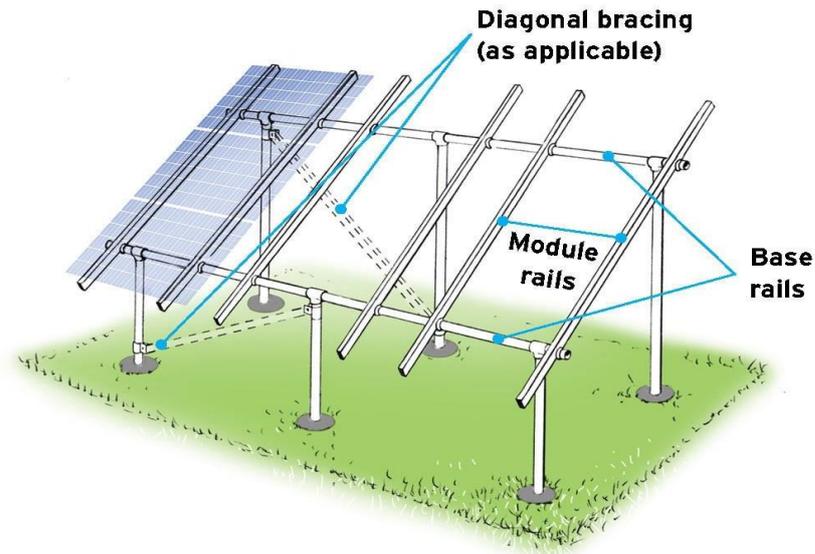
### Instruksi

1. Pasang rel dasar. Pasang braket tiang ke tiang dan kencangkan seperti yang diarahkan oleh pabrikan. Tergantung pada sistemnya, Anda mungkin ingin membiarkan braketnya longgar untuk saat ini, untuk memungkinkan penyesuaian. Pasang rel dasar ke braket tiang, sekali lagi jaga agar sedikit longgar, jika ada. Gabungkan panjang rel dasar sesuai kebutuhan, menggunakan perangkat keras sistem (atau sambungan pipa, jika relnya adalah pipa standar). Rencanakan lokasi kopleng agar tidak mengganggu braket tiang atau braket rel modul. Potong pipa memanjang dengan gergaji reciprocating atau gergaji potong. File ujung yang dipotong halus (Anda dapat menambahkan tepi nanti, jika diinginkan). Ketika semua penyangga sudah terpasang, konfirmasi bahwa semuanya pas dan berbentuk persegi dan rata; kemudian kencangkan perangkat keras/pengencang dan putar sesuai petunjuk.

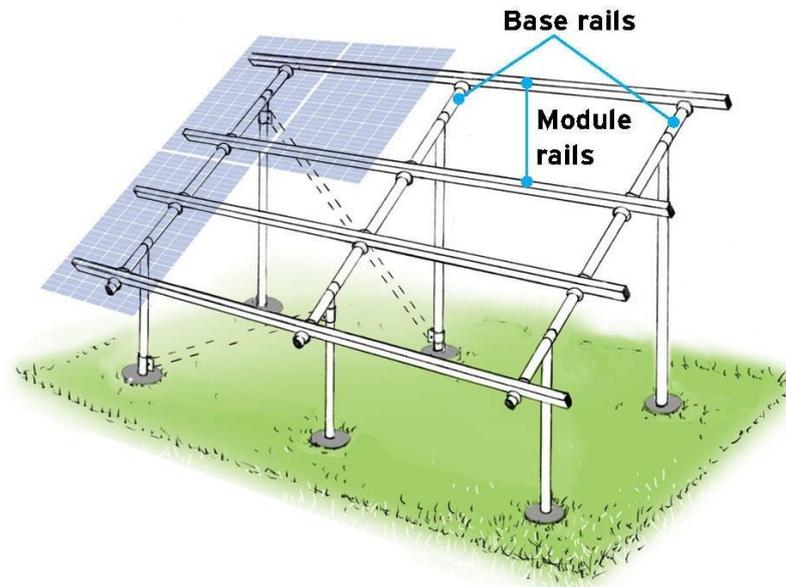


**Gambar 7.7** Pasang braket ting ke tiang dengan kencang sesuai aturan pabrik

2. Pasang rel modul. Pasang rel modul ke rel dasar, menggunakan perangkat keras sistem. Tempatkan rel sesuai dengan spesifikasi modul, dan rencanakan celah yang diperlukan antara modul di baris yang sama (biasanya diatur oleh penjepit tengah modul) dan antara modul di baris yang berdekatan (biasanya inci). Pasang anggota bresing antara tiang sesuai dengan desain struktur dan persyaratan teknik.

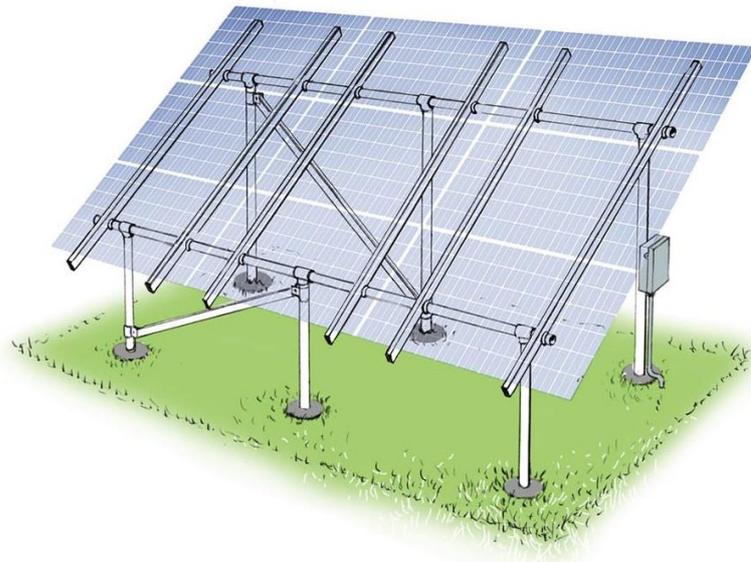


**Gambar 7.8** Orientasi lanskap



**Gambar 7.9** Orientasi potret

3. Prewire array dan instal modul. Langkah-langkah untuk bagian instalasi ini sama seperti untuk sistem atap dan tercakup dalam Instalasi Modul. Dengan struktur ground-mount, Anda memiliki pilihan untuk memasang kotak sambungan atau kotak penggabung ke struktur, daripada rel modul. Anda juga dapat memasang potongan horizontal saluran pembingkai logam (Unistrut adalah satu merek) di dua tiang dan memasang kotak ke saluran. Dimungkinkan juga untuk memasang inverter string ke saluran ini, asalkan diberi peringkat untuk eksposur luar ruangan. Itu harus dilindungi oleh array sebanyak mungkin.



**Gambar 7.10** Array lengkap — orientasi lanskap

#### **7.4 ATURAN RAPID SHUTDOWN UNTUK GROUND-MOUNT ARRAYS**

Jika Anda memiliki sistem PV string-inverter dan Anda memasok tenaga surya ke rumah Anda, Anda hampir pasti membutuhkan perlindungan shutdown cepat. Secara teknis, perlindungan pemadaman cepat hanya diperlukan untuk bagian sistem yang ada di atau di rumah Anda (atau jenis bangunan apa pun); bagian luar dari sistem yang tidak menyentuh rumah tidak memerlukan perlindungan. Tetapi dalam kebanyakan kasus, kotak pemutus-penggabung DC akan dipasang di sebelah larik ground-mount. Oleh karena itu, sistem pemadaman cepat akan mampu memutus daya ke semua kabel antara array dan inverter DC-AC di rumah. Seperti halnya sistem PV atap dengan mikroinverter, sistem pemutus cepat yang terpisah tidak diperlukan untuk susunan pemasangan di tanah dengan inverter mikro.

## BAB 8

### INSTALASI LISTRIK

#### 8.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

Bab ini melanjutkan di mana kita tinggalkan dengan instalasi mekanis untuk atap dan susunan ground-mount dan mencakup sisa instalasi sistem grid-tied. Transisi dari sebagian besar tugas mekanis ke pekerjaan listrik akhir adalah tempat alami untuk berhenti dan memutuskan seberapa banyak lagi yang ingin Anda lakukan sendiri. Bagi sebagian besar pekerja DIY, ini adalah saat yang tepat untuk menyerahkan semuanya kepada tukang listrik (dan, pada akhirnya, pekerja utilitas). Faktanya, ini adalah saat banyak pemasang surya profesional membawa tukang listrik atau subkontraktor listrik mereka sendiri. Ini karena pekerjaan yang tersisa memerlukan keahlian dengan sistem dan material kelistrikan, dan di sebagian besar yurisdiksi, semua peralatan dan kabel listrik AC harus dipasang oleh ahli listrik utama (bukan pekerja harian).

Jika Anda tahu cara membengkokkan saluran dan menarik kabel, Anda mungkin memutuskan untuk menangani pekerjaan ini sebelum meminta teknisi listrik Anda membuat sambungan akhir. Either way, kebijaksanaan konvensional (dan rekomendasi kami) adalah memiliki instalasi profesional dan menghubungkan segala sesuatu di luar inverter DC-AC serta peralatan shutdown cepat. Kami akan mendiskusikan apa yang terlibat sehingga Anda akan memahami semua bagian dari sistem Anda dan akan tahu apa yang diharapkan dari para profesional.



**Gambar 8.1** Pembengkokkan saluran dan penarikan kabel

#### 8.2 LANGKAH PROYEK AKHIR

Dengan selesainya susunan atap atau pemasangan di tanah, langkah selanjutnya adalah menjalankan saluran turun ke permukaan tanah (dari susunan atap) atau ke rumah (dari susunan pemasangan di tanah), di mana ia akan mengikat ke komponen yang tersisa dan jaringan utilitas. Inilah yang tersisa untuk keseluruhan proyek, singkatnya:

Memasang saluran dan kabel antara penggabung atau kotak sambungan pada larik dan komponen sistem di permukaan tanah. Pekerjaan ini memerlukan bagian besar terakhir dari

pekerjaan kasar. Anda dapat menghemat uang dengan melakukan beberapa atau semua pekerjaan sendiri, jika Anda merasa nyaman dengan tekniknya. Bagaimanapun, ada baiknya untuk mendiskusikan rencana Anda dengan ahli listrik Anda untuk memastikan bahwa semua pekerjaan Anda akan memenuhi standarnya.

Memasang dan menghubungkan komponen permukaan tanah, termasuk yang berikut ini, tergantung pada jenis sistem Anda (kami juga mencatat siapa yang harus memasangnya):

- Inverter DC—AC: hanya sistem inverter string; Anda dapat memasang inverter ke dinding (paling mudah jika inverter dilengkapi dengan pelat pemasangan), jika Anda suka, tetapi biarkan tukang listrik membuat sambungan kabel
- Kontrol shutdown cepat: hanya sistem string-inverter; instalasi listrik
- pemutusan AC: instalasi listrik; harus diberi label untuk identifikasi
- Pengukur produksi PV: berlaku untuk semua sistem tetapi tidak selalu diperlukan oleh utilitas Anda; instalasi listrik; harus diberi label untuk identifikasi
- Pemutus AC untuk daya PV di panel layanan listrik utama: instalasi listrik; harus diberi label untuk identifikasi
- Pengukur bersih utilitas: dipasang oleh utilitas (atau salah satu subkontraktornya), umumnya tanpa biaya, tetapi mungkin perlu beberapa saat untuk mendapatkannya; biasanya ditempel stiker dengan kata NET

**PERINGATAN:** Pengukur jaring memungkinkan pengukur utilitas berjalan baik dalam arah maju maupun mundur. **JANGAN** nyalakan sistem PV Anda tanpa meteran bersih dan persetujuan utilitas.

### 8.3 MENJALANKAN SALURAN

Semua kabel di atas tanah yang menghubungkan susunan dan semua komponen sistem lainnya harus tertutup dalam saluran listrik. Saluran pipa logam listrik (EMT) adalah standar industri, meskipun beberapa inspektur dapat menyetujui saluran logam fleksibel atau polivinil klorida (PVC) dalam situasi tertentu. Tapi Anda tidak bisa salah dengan EMT. Persyaratan dan opsi untuk menjalankan saluran bergantung pada jenis sistem.

#### Saluran Saluran Atap

Dengan susunan atap, Anda memiliki pilihan untuk menjalankan saluran melalui atap atau keluar dan di sekitar tepi atap. Melewati atap menawarkan pemasangan yang jauh lebih rapi, karena tidak ada saluran yang melintasi atap dan membungkus tepinya. Sebaliknya, saluran melewati atap (melalui boot yang disetujui dengan berkedip) dan ke loteng, di mana itu diarahkan ke dinding luar, kemudian melalui soffit di atap dan ke bawah dinding luar (saluran juga dapat berjalan melalui pengejaran dari loteng ke ruang listrik interior). Ini biasanya merupakan pilihan yang lebih baik jika Anda memiliki loteng terbuka dengan akses ke bagian bawah atap.

Saluran yang dipasang di atas atap harus ditambatkan dengan alat kelengkapan yang dipasang. Di beberapa daerah, mungkin diperlukan angkur saluran untuk meninggikan saluran di atas permukaan atap. Ini membantu menurunkan suhu di dalam saluran untuk mencegah panas berlebih dan juga memungkinkan hujan dan salju meluncur di bawahnya.

Penetrasi melalui atap memerlukan pemasangan flash, seperti boot (mirip dengan penetrasi pipa ventilasi pipa) atau selungkup kotak tertutup, yang berfungsi ganda sebagai kotak persimpangan untuk transisi kabel. Beberapa penutup kotak dapat dipasang di bawah susunan sehingga kotak dan saluran tidak terlihat dari tanah. Alat kelengkapan yang dipasang seperti flashing untuk footer racking, dengan flashing diselipkan di bawah sirap di atas dan disegel dengan penyegelan atap seperti yang ditentukan oleh pabrikan.



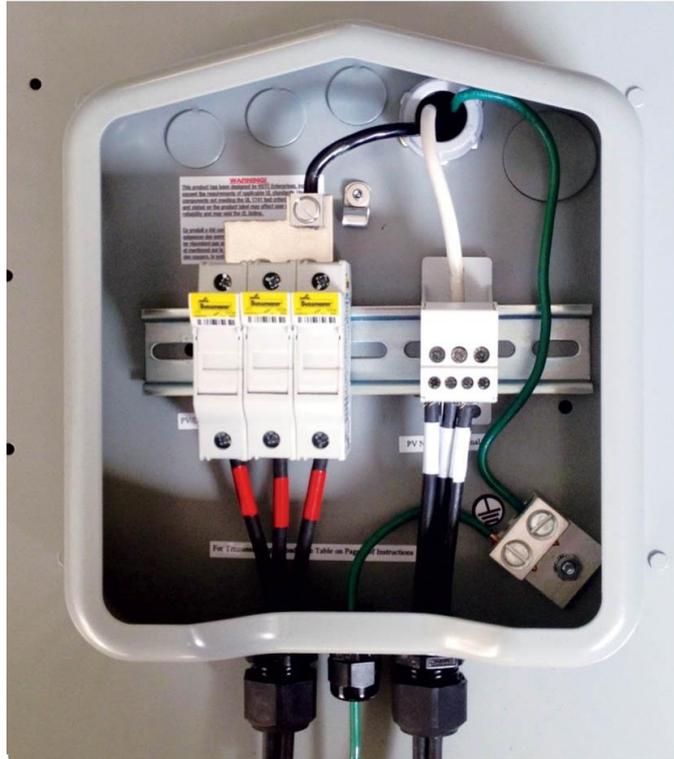
**Gambar 8.2** Pemasangan saluran dengan jangkar dan lampu kilat yang ditinggikan.



**Gambar 8.3** Perlengkapan penetrasi standar termasuk flashing logam dan boot karet yang menyegel di sekitar saluran.



**Gambar 8.4** Kotak persimpangan transisi kabel



**Gambar 8.5** Selungkup kotak dapat berfungsi sebagai kotak persimpangan atau penggabung, selain saluran penahan dan membuat penetrasi atap yang kedap air.

Menempatkan kotak di bawah array membuat instalasi sangat bersih; perlu diketahui bahwa Anda harus menghapus modul (atau membiarkannya selama instalasi) untuk mengakses kotak.

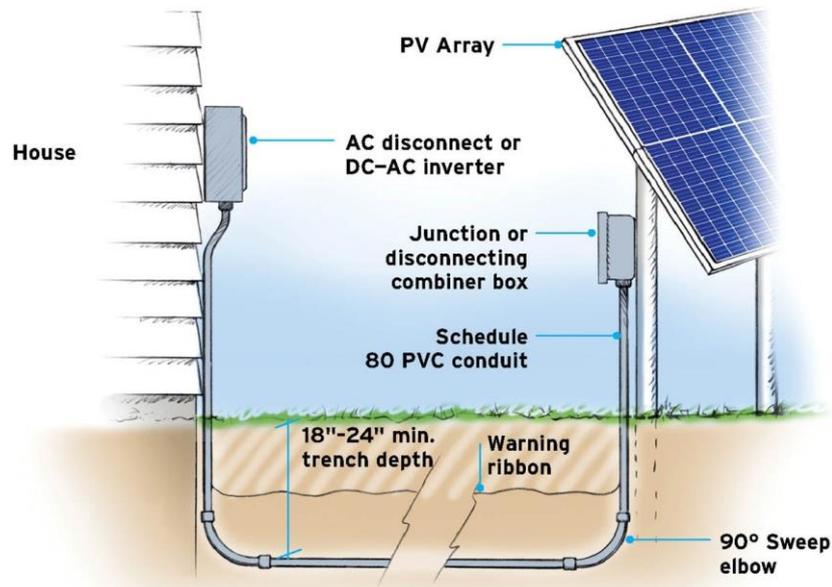
#### 8.4 PEMASANGAN KABEL GROUND-MOUNT

Pengkabelan yang menghubungkan susunan ground-mount ke rumah biasanya berjalan di bawah tanah dan harus dipasang sesuai dengan kode lokal. Di banyak area, Anda diperbolehkan menggunakan kabel pengumpan bawah tanah (UF) atau kabel pintu masuk layanan bawah tanah (USE), melampirkannya ke dalam saluran hanya di ujung parit dan di mana pun kabel berada di atas tanah. Jika Anda lebih suka menggunakan saluran bawah tanah, opsi termasuk saluran PVC jadwal 80 dan saluran baja kaku (RSC). PVC tidak mahal dan mudah digunakan, sedangkan RSC membutuhkan pipa dan alat kelengkapan berulir serta alat khusus untuk memasang pipa dengan panjang khusus. Menjalankan saluran sepanjang jalan sering berarti Anda dapat menggunakan kabel THWN-2 alih-alih kabel UF.

Parit untuk kabel biasanya harus memiliki kedalaman setidaknya 18 hingga 24 inci dan biasanya di bawah garis es. Di setiap ujung parit di susunan dan rumah kabel harus memasuki saluran melalui siku penyapu 90 derajat untuk memastikan transisi yang mulus ke saluran vertikal yang memanjang di atas tanah. Parit untuk saluran PVC kontinu tidak perlu sedalam itu — biasanya 18 inci. Mengubur pita peringatan di parit adalah ide yang baik untuk semua instalasi dan mungkin diperlukan oleh kode lokal. Pita biasanya ditanam 12 inci di atas kabel atau saluran. Jika inspektur Anda tidak perlu melihat parit terbuka, ada baiknya untuk

mengambil foto meteran Anda yang diperpanjang hingga bagian bawah parit, untuk berjaga-jaga jika Anda perlu membuktikan bahwa parit Anda cukup dalam.

Kabel komunikasi (untuk pemantauan data, sistem shutdown cepat, dan sebagainya), seperti kabel CAT-5, biasanya harus dijalankan dalam saluran terpisah dari kabel pembawa arus. Menggali parit sendiri adalah cara yang baik untuk menghemat tagihan listrik. Metode termudah adalah dengan menyewa penggali, mesin bertenaga gas, satu operator yang memiliki apa yang tampak seperti batang gergaji raksasa dan gigi di ujung bisnis. Parit dapat menggali parit selebar 4 atau 6 inci; 4-inci sudah cukup dalam banyak kasus. Alat penggali apa pun yang Anda gunakan, hubungi 811 sebelum Anda menggali (lihat PERINGATAN untuk mencegah menabrak saluran utilitas).



**Gambar 8.6** Persyaratan umum untuk kabel bawah tanah

### Saluran Jalan Di Atas

Anda mungkin diizinkan untuk menjalankan saluran di sepanjang atau di bawah geladak atau struktur lain yang sesuai untuk mengurangi jumlah pembuatan parit yang diperlukan. Pastikan untuk mendapatkan persetujuan dari departemen bangunan Anda sebelum merencanakan opsi ini.

### Haruskah Anda Menarik Kabel?

Menarik kabel antara susunan dan komponen permukaan tanah mungkin masuk akal jika Anda tahu apa yang Anda lakukan dan Anda telah mengkonfirmasi bahan kabel dengan ahli listrik Anda. Tapi ini bukan proyek yang bagus bagi pemula untuk memotong gigi mereka. Perhatian utama dengan menarik kabel adalah bahwa jika Anda tidak melakukannya dengan benar, Anda dapat merusak isolasi kabel dan berakhir dengan konduktor yang terbuka, menciptakan potensi korsleting yang berbahaya di sirkuit (kabel terbuka, saluran logam ... Anda mendapatkan gambar). Memasukkan banyak titik tarik di saluran membuatnya lebih mudah untuk menarik kabel dan mengurangi kemungkinan kerusakan. Untuk pemasangan kabel di antara komponen permukaan tanah, serahkan semuanya pada teknisi listrik Anda.

### **Aturan Conduit (Untuk Pemasangan Rooftop Dan Ground-Mount)**

Selain praktik terbaik standar dan teknik pemasangan, menjalankan saluran untuk sistem PV melibatkan beberapa pertimbangan khusus:

- Conduit dan fitting harus di luar ruangan (kedap air).
- Jalur saluran dapat memiliki tikungan maksimum 360 derajat (seperti empat siku 90 derajat) di antara kotak atau titik tarik lainnya (titik akses untuk menarik kabel). Ini adalah aturan kode standar tetapi sangat penting untuk diingat ketika merutekan saluran di sekitar tepi atap, di sepanjang soffit, ke bawah dinding, dan sebagainya. Aturan praktis yang diikuti oleh para profesional adalah menjadikan setiap tikungan keempat dalam lari sebagai titik tarik, menggunakan badan saluran, siku penarik, atau kotak persimpangan.
- Amankan saluran dengan penjepit dalam jarak 3 kaki dari semua kotak dan setiap 6 kaki di tempat lain. Pedoman ini sedikit lebih ketat daripada banyak persyaratan standar tetapi merupakan ide bagus untuk mendapatkan sistem PV yang disetujui.
- Saluran atap mungkin memerlukan kopling ekspansi untuk mentolerir suhu tinggi, terutama jika saluran lebih panjang dari 10 kaki di sepanjang atap.

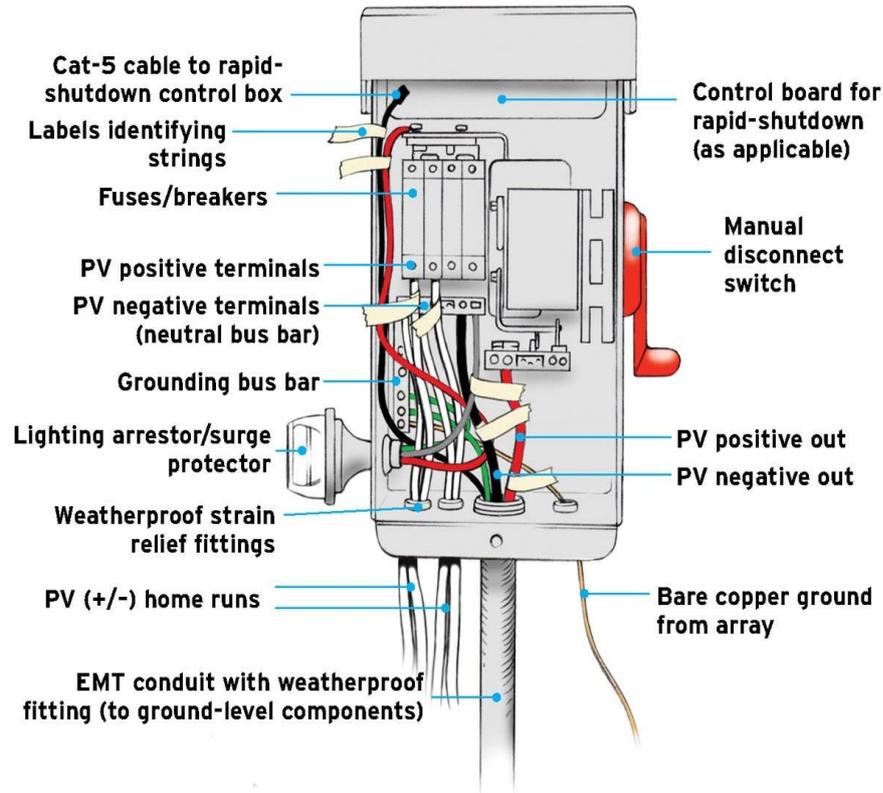
## **8.5 KONEKSI KOMPONEN**

Perangkat dan konfigurasi pengkabelan di setiap komponen sistem PV yang tersisa adalah khusus untuk setiap instalasi sistem. Teknisi listrik Anda akan membuat perhitungan yang diperlukan mengenai ukuran kabel, arus lebih dan proteksi petir, grounding, dan persyaratan penting lainnya. Di sini, kita akan melihat contoh dasar setiap komponen dan memperkenalkan beberapa elemen umum untuk membantu Anda memahami bagaimana koneksi akhir melengkapi sistem.

**Catatan:** Ini dimaksudkan sebagai contoh umum saja dan tidak boleh digunakan sebagai panduan untuk memasang kabel sistem Anda sendiri.

### **Kotak Penggabung DC (Sistem Inverter String)**

Kotak penggabung memungkinkan Anda untuk menggabungkan beberapa modul seri-string secara paralel untuk meminimalkan jumlah kabel yang membuat perjalanan turun ke komponen permukaan tanah. Combiner dengan kemampuan disconnect juga berfungsi sebagai disconnect untuk sistem rapid-shutdown. Konfigurasi dasar kotak combiner mirip dengan subpanel listrik atau kotak pemutus kecil. Kabel home run dari seri-string terhubung ke pemutus yang menyatu dan bar bus netral di dalam kotak. Kabel ground array terhubung ke ground lug atau grounding bus bar, yang juga menghubungkan kotak. Dengan sebagian besar sistem PV rumah, kabel keluar termasuk kabel positif (pembawa arus), kabel negatif, dan kabel ground, ditambah kabel dari kotak kontrol pemadaman cepat.



Gambar 8.7 Isi dari kotak penggabung DC

### Kotak Sambungan AC (Sistem Microinverter)

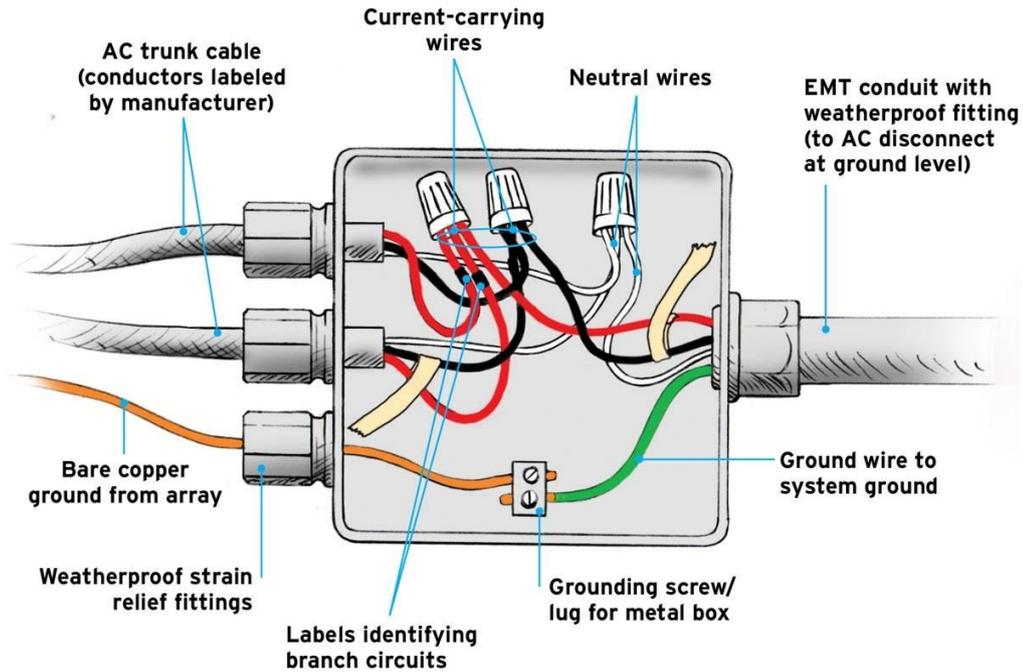
Kotak sambungan array pada sistem mikroinverter tipikal menerima kabel trunk AC dan kabel ground dari array. Dengan kabel fase tunggal 240 volt standar, kabel keluar mencakup dua kabel positif (pembawa arus), masing-masing membawa 120 volt; satu kabel netral; dan kabel grounding. Kabel ground harus terhubung ke kotak logam untuk menghubungkannya.

**Catatan:** Anda mungkin telah mengamankan kabel batang AC ke kotak sambungan Anda selama prapengkabelan (seperti yang diarahkan oleh pabrikan), tetapi mulai saat ini sambungan ke kabel batang dan semua pengkabelan dan pemasangan AC harus dilakukan oleh teknisi listrik berlisensi.

### Kontrol Pemadaman Cepat (Sistem Inverter String)

Kotak kontrol pemadaman cepat adalah pusat dari sistem pemadaman cepat, yang menghubungkan ke kotak penggabung pemutus pada larik dan inverter DC-AC. Kotak itu mencakup sakelar manual yang memungkinkan penanggap darurat untuk mengaktifkan shutdown. Selain kabel sirkuit, kotak kontrol dihubungkan ke komponen sistem dengan kabel Cat-5 untuk komunikasi.

**Ingat:** Sistem dengan mikroinverter tidak memerlukan peralatan pemadaman cepat yang terpisah karena inverter mikro secara otomatis mematikan daya yang dihasilkan surya di modul.



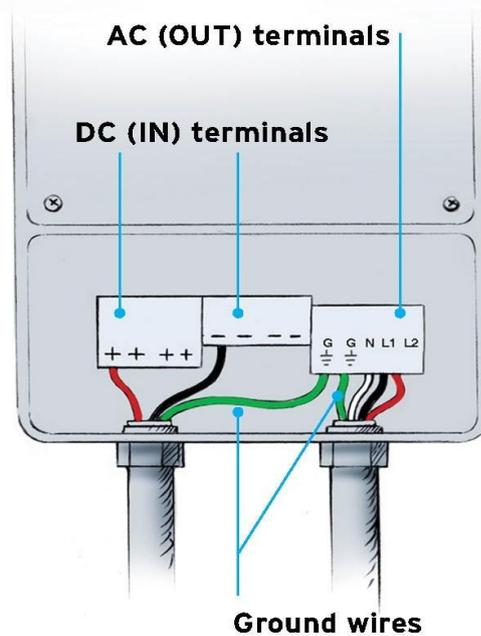
**Gambar 8.8** Kotak kontrol pemadaman cepat

## 8.6 DC—INVERTER STRING AC

Inverter string menerima listrik DC dari susunan PV dan mengeluarkan listrik AC ke seluruh sistem. Daya AC dan DC beroperasi pada tingkat tegangan dan arus yang berbeda, membutuhkan kabel yang berbeda untuk setiap sisi inverter. Inverter string saat ini mencakup pemutusan DC terintegrasi yang telah dipasang sebelumnya di pabrik. Jika Anda kebetulan memiliki inverter gaya lama tanpa pemutus DC, maka sistem Anda harus menyertakan unit pemutus DC terpisah yang dipasang antara array dan inverter. String inverter sendiri biasanya dipasang di dinding luar rumah atau di dinding interior garasi atau ruang listrik.



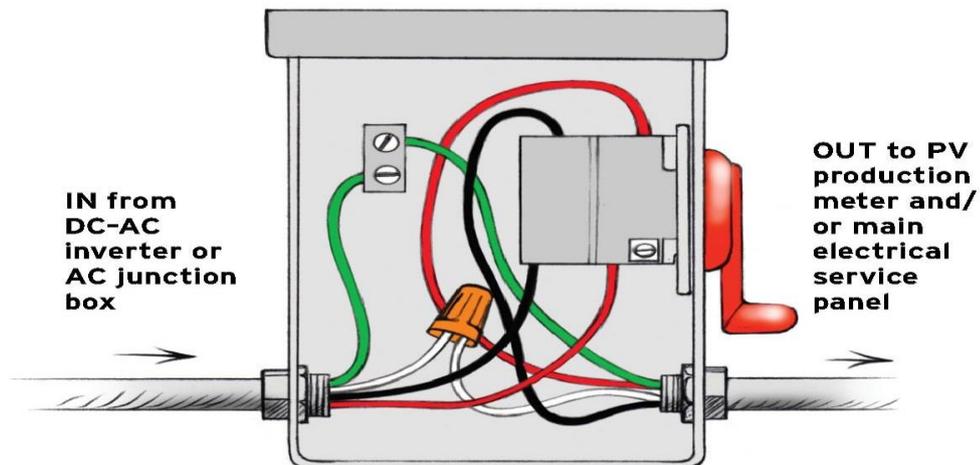
**Gambar 8.9** Pengaturan demonstrasi ini menunjukkan kotak kontrol pemadaman cepat Birdhouse di sebelah kotak penggabungan pemutus. Kabel biru adalah kabel Cat-5, yang mengirimkan sinyal trip antara kotak kontrol dan pemutus.



Gambar 8.10 DC-Inverter string AC

### Putuskan sambungan AC

Pemutus AC adalah perangkat listrik standar yang dapat diperoleh teknisi listrik Anda melalui rumah pasokan lokal. Ini terhubung ke kabel AC dari inverter DC-AC (untuk sistem inverter string) atau ke kabel langsung dari kotak sambungan AC array (untuk sistem mikroinverter). Pemutus sambungan termasuk pemutus internal untuk perlindungan arus lebih dan sakelar “bilah pisau” manual besar pada eksterior kotak yang dapat dioperasikan tanpa melepas penutup kotak. Sakelar dapat dikunci untuk mengamankannya dalam posisi mati untuk pekerjaan servis atau alasan lainnya.



Gambar 8.11 Pemutusan AC

### Meter dan Panel Servis Listrik Utama

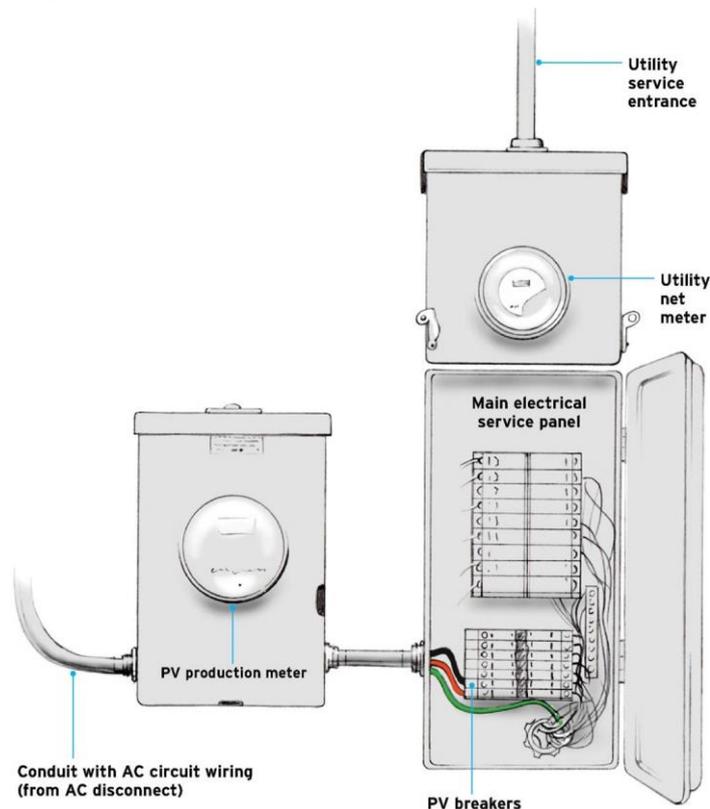
Tiga komponen terakhir yang akan dihubungkan dalam sistem jaringan-terikat adalah meteran produksi PV, panel layanan listrik utama rumah, dan meteran bersih utilitas. Pengukur produksi mencatat semua energi yang dihasilkan matahari dan digunakan di

beberapa area untuk menentukan SREC (lihat di sini) dan/atau energi surplus untuk program pembelian kembali atau pengukuran bersih (lihat di sini). Pengukur produksi mungkin diperlukan oleh utilitas Anda dan/atau program energi negara bagian atau lokal tetapi sebaliknya mungkin opsional. Jika diperlukan, utilitas atau otoritas lokal menentukan jenis meteran yang akan digunakan (seperti meteran “tingkat pendapatan”) dan persyaratan pemasangan dan penandaan apa pun.

Sambungan ke panel servis listrik utama biasanya dibuat dengan pemutus “umpan balik” kutub ganda (DP) yang ditambahkan ke satu atau dua slot terbuka pada panel yang ada. Jika tidak ada cukup ruang untuk pemutus baru, teknisi listrik dapat memasang subpanel di sebelah panel utama untuk menampung pemutus sistem PV. Label menunjukkan bahwa pemutus adalah untuk sistem PV. Kapasitas dan jenis pemutus akan ditentukan oleh teknisi listrik Anda. Beberapa sistem PV memiliki lebih dari satu pemutus.

Utilitas (atau salah satu subkontraktornya) memasang meteran bersihnya, biasanya menggantikan meteran standar yang lama, di sisi jaringan panel layanan listrik utama dan menghubungkan Anda ke jaringan listrik pada saat yang sama. Ini adalah koneksi terakhir dalam instalasi sistem PV. Biasanya dilakukan hanya setelah pemeriksaan akhir lulus dan semua dokumen utilitas telah diproses.

Meter standar berjalan dalam satu arah saja, sedangkan meter net berjalan dalam dua arah. Jika Anda mengoperasikan sistem PV Anda dengan meteran standar, energi matahari yang Anda hasilkan akan membuat meteran Anda berjalan lebih cepat, seolah-olah rumah Anda menggunakan lebih banyak listrik. (Ya, orang telah mencoba untuk menghindari utilitas dan menjalankan sistem PV mereka tanpa meteran bersih hanya untuk menemukan tagihan listrik mereka naik daripada turun.)



**Gambar 8.12** Meter dan panel layanan listrik utama

**PERINGATAN:** Lug servis di panel servis listrik utama tetap hidup — membawa tegangan mematikan — bahkan ketika pemutus sirkuit utama panel dimatikan. Lug ditutupi oleh penutup depan kotak yang mati, panel logam di bagian dalam kotak, hanya dapat diakses ketika pintu kotak terbuka. Penutup depan mati menyembunyikan kabel internal, serta lug, dan memiliki potongan persegi panjang yang memungkinkan akses ke sakelar pemutus. Jangan lepaskan penutup depan yang mati. Kotak ini hanya boleh dikerjakan oleh teknisi listrik berlisensi.

### Rambu

Persyaratan untuk rambu keselamatan ditetapkan oleh departemen bangunan setempat dan bisa sangat spesifik. Bukan hal yang aneh jika stiker atau plakat khusus dibuat untuk memuaskan inspektur. Tanda peringatan harus memiliki huruf hitam dengan latar belakang kuning atau huruf putih dengan latar belakang merah. Pesan umum pada label peringatan meliputi:

- Sistem Fotovoltaik Terhubung (Aktif)
- Sistem Tenaga Surya (PV)
- Sistem ini diberi makan oleh Array Surya serta Utilitas
- Catu Daya Ganda/Sumber: Jaringan Utilitas dan Sistem Listrik Tenaga Surya PV
- Pemutusan Sambungan AC Sistem Fotovoltaik



**Gambar 8.13** Stiker atau plakat rambu keselamatan



**Gambar 8.13** Stiker atau plakat rambu keselamatan



**Gambar 8.14** Stiker atau plakat rambu keselamatan



**Gambar 8.15** Stiker atau plakat rambu keselamatan

### 8.7 PEMERIKSAAN AKHIR DAN MENGHIDUPKAN SISTEM PV ANDA

Setelah teknisi listrik Anda selesai menghubungkan sistem Anda ke panel servis listrik utama, Anda akan meminta pemeriksaan akhir dari departemen bangunan.



**Gambar 8.16** Panel servis listrik utama

Periksa kembali paket izin Anda untuk memastikan semuanya sudah siap untuk pemeriksaan akhir, termasuk tanda peringatan. Jika inspektur perlu memeriksa komponen atap, pasang tangga, ikuti semua pedoman keselamatan tangga yang penting (lihat di sini).

Setelah Anda melewati pemeriksaan akhir, beri tahu penyedia utilitas Anda. Mereka akan mengirimkan salah satu ahli listrik atau subkontraktor mereka untuk memasang meteran bersih, yang menghubungkan sistem PV Anda ke jaringan utilitas melalui panel layanan listrik utama. Ketika pekerjaan itu selesai, utilitas mengirimi Anda surat Izin Beroperasi (PTO), melalui surat atau email, yang memberi Anda persetujuan resmi untuk menghidupkan sistem Anda. Pastikan untuk menganggap persetujuan resmi itu dengan serius; jangan nyalakan sistem PV Anda sampai Anda memiliki pemberitahuan PTO di tangan. Untuk langkah terakhir, itu semua Anda, sayang: nyalakan sistem Anda mengikuti instruksi di sini untuk jenis sistem Anda. Selamat! Anda adalah produsen energi bersih fotovoltaik surya!

## BAB 9

### DESAIN SISTEM OFF-GRID

#### 9.1 TUJUAN PEMBELAJARAN

Jika Anda serius tentang listrik off-grid, Anda tidak akan terkejut mendengar bahwa merancang sistem PV off-grid sedikit lebih rumit daripada sistem grid-tied, tapi mungkin lebih sederhana dari yang Anda pikirkan. Kedua jenis sistem memiliki banyak kesamaan, dan, untuk mengatasi tiga hal utama yang ditambahkan di sisi off-grid baterai, pengontrol pengisian daya, generator ada dua hal yang tidak perlu Anda khawatirkan: meter dan kerepotan dengan utilitas (belum lagi tagihan utilitas). Dengan kesamaan dalam pikiran, Anda harus memiliki pemahaman menyeluruh tentang dasar-dasar desain dan proses yang dibahas dalam bab 4 sebagai dasar untuk mempelajari desain off-grid dan perbedaannya dari desain grid-tied. Jadi, jika Anda baru saja membaca sekilas bab itu (atau melewatkannya sama sekali) dalam perjalanan ke sini, kami khawatir Anda harus kembali dan mencerna bab 4 terlebih dahulu. Jika tidak, diskusi tentang sistem off-grid ini pasti akan membuat Anda sakit perut.

**Catatan:** Ketika datang ke instalasi komponen listrik permukaan tanah (semuanya kecuali array), kami menawarkan rekomendasi yang sama yang kami lakukan untuk orang-orang yang terikat jaringan: menyewa tukang listrik atau pemasang surya profesional untuk membuat semua final koneksi kabel. Itu termasuk baterai, yang dalam beberapa hal merupakan bagian paling berbahaya dari semua instalasi PV.



**Gambar 9.1** Sistem PV *off-grid*

#### 9.2 DASAR-DASAR Off-GRID

Untuk menghargai perbedaan utama antara sistem PV off-grid dan grid-terikat, bayangkan Anda berencana untuk membawa semua orang di rumah Anda dalam perjalanan berkemah yang panjang. Salah satu pilihan adalah pergi berkemah mobil, di mana Anda memarkir kendaraan Anda tepat di perkemahan. Anda akan menghabiskan siang dan malam Anda di luar ruangan, tetapi jika Anda kehabisan makanan, bir, kertas toilet, atau kebutuhan penting lainnya, Anda akan memiliki banyak persediaan cadangan yang dikemas di dalam mobil, hanya beberapa langkah lagi.

*Instalasi Panel Listrik Surya (Dr. Agus Wibowo)*

Pilihan lainnya adalah perjalanan hutan belantara di mana Anda membawa semua yang Anda butuhkan untuk bertahan hidup jauh ke dalam hutan dalam ransel. Jika Anda merencanakan dengan hati-hati dan memastikan tidak ada yang makan atau minum terlalu banyak, Anda akan baik-baik saja. Tetapi jika persediaan menipis, Anda harus mengurangi konsumsi Anda. Dan jika persediaan habis, mereka habis. Anda berkemah terlalu jauh dari mobil untuk mendaki kembali, dan toh Anda tidak mengisinya dengan persediaan tambahan.

Anda mendapatkan idenya. Merencanakan sistem PV off-grid, seperti berkemah di hutan belantara, membutuhkan lebih banyak perhatian dan pemeriksaan yang cermat tentang apa yang Anda butuhkan setiap hari. Satu-satunya hal yang hilang dari perbandingan, dalam skenario off-grid, adalah generator untuk mengisi kembali pasokan energi jika keadaan menjadi buruk. Demi metafora berkemah, kami akan menyebutnya pancing.

Ini masalah penawaran dan permintaan yang sederhana. Mengukur sistem off-grid dimulai dengan pemeriksaan yang cermat terhadap kebutuhan listrik rumah tangga Anda untuk beban listrik harian Anda. Anda akan belajar cara menghitung beban di sini. Dalam hal peralatan, mari kita lihat lagi elemen dasar sistem PV off-grid, karena ada komponen tambahan di luar yang diperlukan untuk sistem grid-tied.

**Array PV:** Modul dan struktur pendukung modul sama untuk sistem off-grid dan grid-tied, tetapi dengan desain off-grid, rangkaian-rangkaian modul cenderung jauh lebih kecil, biasanya dengan rangkaian tiga atau empat modul masing-masing, seperti yang akan kita bahas di Tata Letak Array.

**Shutdown cepat:** Sistem off-grid menggunakan inverter string (bukan microinverter), yang berarti mereka memerlukan sistem khusus untuk memenuhi persyaratan shutdown cepat. Ini biasanya berbentuk sakelar kendali mati cepat yang berkomunikasi dengan kotak penggabungan pemutus pada larik, seperti halnya sistem inverter-string gridtied standar.

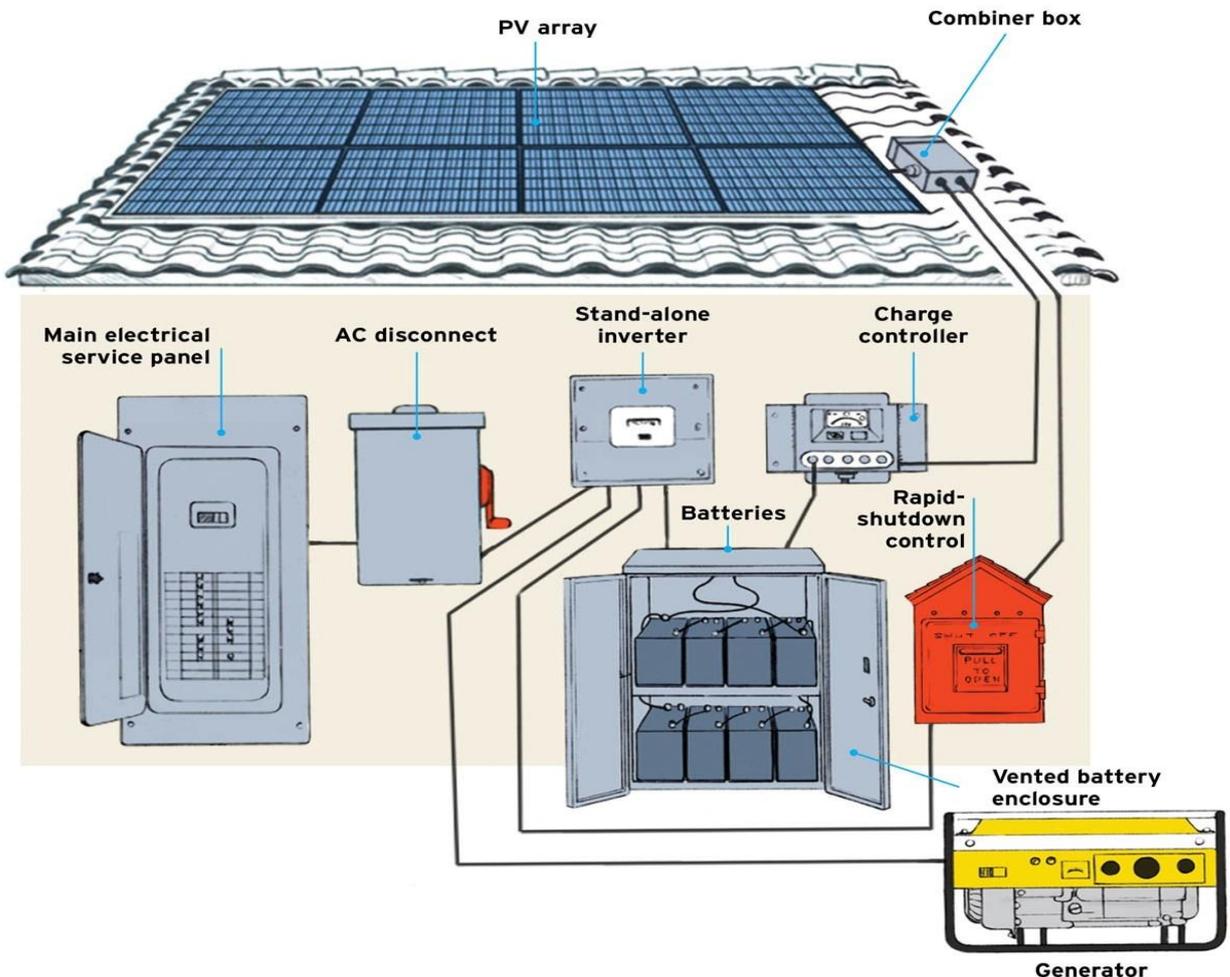
**Pengontrol muatan dan baterai:** Dalam sistem off-grid, daya DC yang dihasilkan oleh tenaga surya dari susunan melewati pengontrol muatan dalam perjalanannya ke baterai. Pengontrol pengisian mengatur aliran daya dan menurunkan tegangan ke tingkat yang tepat untuk desain bank baterai (lihat Pengkabelan Bank Baterai). Pengontrol pengisian daya sangat penting untuk pengisian daya yang aman dan kesehatan baterai. Menyala ketika tegangan baterai rendah dan bank baterai perlu diisi. Ini mati ketika tegangan baterai tinggi dan baterai terisi penuh.

**Inverter DC—AC:** Daya DC yang tersimpan dalam baterai mengalir melalui inverter untuk diubah menjadi daya AC untuk digunakan dalam sistem kelistrikan rumah tangga. Ingatlah bahwa inverter untuk sistem PV off-grid disebut inverter yang berdiri sendiri, sedangkan untuk sistem grid-tie disebut "inverter grid-tie." Secara konvensional, inverter mikro tidak digunakan untuk sistem off-grid karena baterai memerlukan daya DC, dan inverter mikro dikonversi ke AC pada modul. Namun, ada sistem berpasangan AC yang menggunakannya (dalam pengaturan kadang-kadang disebut "microgrid"), tetapi ini memerlukan komplikasi yang tidak perlu untuk sebagian besar sistem rumah tunggal.

**Pemutus AC:** Di sisi AC, sistem off-grid hanya memiliki pemutusan AC dan panel layanan listrik utama rumah, keduanya sama dengan yang digunakan dengan sistem jaringan-terikat. Tentu

saja, tidak ada meteran produksi atau meteran utilitas yang diperlukan, karena Anda tidak terhubung ke jaringan utilitas.

**Generator:** Rumah tangga off-grid yang mengandalkan tenaga surya hampir selalu memiliki generator untuk daya cadangan ketika tingkat penyimpanan baterai rendah dan/atau matahari tidak bersinar.



**Gambar 9.2** Sistem PV off-grid memiliki kesamaan paling banyak dengan sistem grid-ties dengan inverter string.

Perbedaan utama dalam peralatan adalah dimasukkannya pengontrol muatan, bank baterai, generator (biasanya), dan inverter yang berdiri sendiri (sebagai pengganti inverter yang diikat jaringan). Sistem off-grid juga berhenti di panel layanan listrik rumah, karena tidak ada meteran listrik atau sambungan jaringan.

### Menghitung Beban dan Hari Otonomi

Beban listrik Anda adalah total kumulatif dari semua penggunaan listrik harian di rumah Anda. Hitung beban Anda dengan mengalikan watt setiap alat dan perangkat listrik dengan jumlah waktu rata-rata yang digunakan dalam sehari. Untuk peralatan yang jarang digunakan, seperti mesin cuci pakaian, hitung rata-rata harian berdasarkan penggunaan mingguan Anda. Misalnya, jika Anda menjalankan mesin cuci 3,5 jam per minggu, gunakan angka harian 0,5 jam ( $3,5 / 7 = 0,5$ ). Jumlahkan penggunaan semua peralatan untuk menemukan total kilowatt-jam (kWh) harian yang digunakan di rumah. Angka ini adalah target harian

minimum Anda untuk daya AC yang dihasilkan oleh sistem PV Anda. Selama desain, Anda akan menggunakan PVWatt untuk menentukan ukuran sistem DC untuk mencapai tujuan ini.

Bagan di halaman berikut mencantumkan beberapa peralatan dan perangkat rumah tangga umum serta perkiraan watt dan waktu penggunaan hariannya (rata-rata tahunan). Ini memberi Anda gambaran tentang rumah tangga dengan peralatan yang cukup efisien. Seperti yang mungkin Anda ketahui, ada produsen yang berspesialisasi dalam peralatan ultra-efisien untuk rumah di luar jaringan. Berinvestasi hanya pada satu alat utama yang sangat efisien, seperti lemari es atau kompor, dapat membuat perbedaan besar dalam beban harian rumah tangga.

Tentukan watt peralatan Anda sendiri dengan melihat papan nama pabrikan. Jika tidak mencantumkan watt tetapi memberi Anda ampli, kalikan dengan 120 (untuk peralatan tegangan standar, atau 240 untuk pengering, kompor listrik, dan peralatan tegangan tinggi lainnya). Misalnya, jika kipas angin listrik memiliki daya 3,0 amp, wattnya adalah  $3 \text{ amp} \times 120 \text{ volt} = 360 \text{ watt}$ .

Watt adalah ukuran konsumsi daya sesaat dari suatu alat dengan cara yang sama seperti ukuran output daya dari modul PV pada titik waktu tertentu. Untuk mengubah watt menjadi penggunaan energi aktual, Anda harus menambahkan faktor waktu: kipas 360 watt yang berjalan selama 3 jam menggunakan 1.080 watt-jam. Bagi watt-jam dengan 1.000 untuk menemukan penggunaan kilowatt-jam (kWh):  $1,080 / 1.000 = 1,08 \text{ kWh}$ . Gunakan nilai kWh untuk menjumlahkan beban listrik rumah tangga Anda.

Hari otonomi (DOA) merupakan faktor desain penting untuk sistem off-grid. Ini menjawab pertanyaan "Berapa hari saya bisa pergi tanpa matahari?" Dengan kata lain, jika ini adalah akhir musim dingin dan ramalan cuaca tidak menunjukkan apa-apa selain salju atau awan tebal dalam waktu dekat, berapa lama Anda ingin baterai Anda memenuhi beban harian Anda sebelum kehabisan daya?

Hari otonomi ditentukan oleh kapasitas bank baterai Anda. Anda dapat memilih jumlah hari yang Anda sukai, tetapi target standarnya adalah tiga hari, dengan asumsi sistem menyertakan generator listrik untuk daya cadangan selama periode cuaca mendung yang berkepanjangan. Target tiga hari tampaknya mencapai keseimbangan yang tepat antara biaya dan manfaat bagi sebagian besar pemilik rumah di luar jaringan. Tidak ada aturan yang melarang mendesain lebih dari tiga hari; itu hanya membutuhkan lebih banyak uang untuk bank baterai yang lebih besar. Anda akan menerapkan target jumlah hari otonomi Anda saat mengukur bank baterai Anda.

### **Matahari Terendah, Beban Tertinggi**

Pasokan matahari yang pendek dan permintaan listrik yang tinggi (pemanas, penerangan) di musim dingin memiliki efek ganda pada pasokan sistem PV dan permintaan rumah. Yang terbaik adalah mengambil pendekatan konservatif dan merancang sistem off-grid Anda untuk sepanjang tahun ketika jam matahari berada pada titik terendah (Desember) dan beban listrik Anda berada pada titik tertinggi. Anda juga harus melihat beban pendinginan, jika perlu, di bulan-bulan musim panas yang hangat (jika rumah Anda memiliki AC, misalnya).

LOAD (APPLIANCE)	WATTAGE	# OF UNITS	DAILY USAGE (HRS./DAY; ANNUAL AVERAGE)	TOTAL DAILY LOAD (KWH/DAY)
Refrigerator	250	1	24	6.0
Stove/Range	1,000	1	0.7	0.7
Microwave oven	1,000	1	0.2	0.2
Well pump	700	1	0.75	0.53
Furnace blower fan	350	1	2	0.7
Woodstove circulation fan	200	1	2	0.4
Ceiling fan	120	1	2	0.24
TV/Stereo	200	2	5	2
Lighting (LED or CFL)	12	5	5	0.3
Computer	150	1	5	0.75
Chargers	25	2	5	0.25
Clothes washer/dryer combo	450	1	0.5	0.23
			Total Daily Load	12.29 kWh/day

**Gambar 9.3** Beban listrik (contoh perhitungan)

### Tata Letak Array

Kembali di bab 4, kami menjelaskan bahwa desain untuk array (termasuk modul dan struktur pendukung modul) adalah sama untuk sistem grid-tied dan off-grid. Untuk memperjelas: Tata letak fisik modul dan semua perhitungan struktur pendukung bisa sama persis, tetapi tata letak kelistrikannya berbeda.

Dengan sistem inverter string terikat-grid, panjang seri string pada akhirnya dibatasi oleh peringkat tegangan rangkaian terbuka (Voc) DC input maksimum yang diizinkan dari inverter string, dan 8 hingga 12 modul dalam seri-string adalah umum. Dengan sistem off-grid, rangkaian senar dibatasi oleh pengontrol muatan. Biaya terbanyak controller dapat menangani string tidak lebih dari tiga atau empat modul secara seri. Misalnya, jika Anda memiliki total 12 modul, Anda biasanya akan menghubungkan array dalam empat string paralel yang masing-masing terdiri dari 3 modul. Banyak pengontrol muatan yang lebih baru dapat menangani 4 modul secara seri (tiga string paralel dari 4 modul masing-masing untuk array 12-modul), dan beberapa dapat melakukan beberapa lagi secara seri, dengan peringkat Voc maksimum hingga 600 volt.

Pilih perangkat pengontrol muatan yang paling sesuai dengan ukuran larik Anda. Ingatlah bahwa tata letak fisik modul tidak harus sesuai dengan tata letak kelistrikan. Misalnya, larik 12-modul Anda dapat diletakkan dalam dua baris fisik yang masing-masing terdiri dari 6 modul dan masih disambungkan sebagai empat rangkaian yang masing-masing terdiri dari 3 modul.

### 9.3 PENGONTROL PENGISIAN DAYA

Pengontrol muatan diperlukan untuk sistem PV off-grid karena rangkaian modul mengeluarkan tegangan yang jauh lebih tinggi daripada yang dapat ditangani oleh baterai. Dalam contoh desain yang ditunjukkan nanti dalam bab ini, rangkaian modul memiliki output pengenal sekitar 91 volt, sedangkan bank baterai diberi pengenal 48 volt (lihat Pengkabelan Bank Baterai). Pengontrol muatan menerima 91 volt (dalam kondisi ideal) dari rangkaian dan mengirimkan 48 volt ke baterai. Selain itu, ini mengatur jumlah dan kecepatan pengisian yang dibutuhkan baterai setiap saat.

Pengontrol pengisian daya tersedia dalam berbagai jenis, dengan kisaran biaya dan kemampuan yang berbeda. Satu-satunya jenis yang sangat direkomendasikan untuk sistem PV off-grid adalah pengontrol muatan MPPT, yang dapat menerima tegangan input (dari array) yang lebih tinggi dari tegangan outputnya (tegangan yang masuk ke baterai), seperti yang telah dibahas sebelumnya. Jenis lainnya adalah pengontrol muatan tegangan tetap, yang mengharuskan tegangan array sama dengan tegangan baterai. Jenis ini hanya digunakan dengan sistem PV yang sangat kecil dan biasanya tidak cocok untuk sistem tenaga rumah.

Kemampuan pelacakan titik daya maksimum (MPPT) pada pengontrol muatan mirip dengan MPPT dengan inverter (dan pengoptimal DC), dibahas dalam bab 3. Dalam hal ini, pengontrol muatan (bukan inverter) secara konstan memonitor tegangan dan arus modul dan menyesuaikan level sesuai kebutuhan untuk mempertahankan titik daya maksimum (MPP). Karena penyesuaian yang paling dramatis diperlukan selama kondisi matahari yang kurang ideal, kondisi suhu ekstrim, dan kondisi baterai rendah, pengontrol pengisian MPPT benar-benar dapat bertahan dalam cahaya rendah (cuaca mendung), ketika modul sebagian berbayang, atau selama ekstrim dalam radiasi matahari atau suhu.



**Gambar 9.4** Pengontrol pengisian daya MPPT

## 9.4 BATERAI

Subjek baterai untuk sistem PV dapat dengan mudah mengisi buku sendiri. Ada banyak jenis, ukuran, harga, karakteristik, dan perilaku baterai. Ada juga pengalaman dan pendapat pribadi yang tak terhitung jumlahnya di luar sana, belum lagi fakta bahwa baterai yang sama sering kali bekerja secara berbeda untuk sistem PV yang berbeda, dan di bawah berbagai kondisi penyinaran matahari, suhu, dan beban listrik. Dengan mengingat hal itu, kami akan membahas dasar-dasar untuk membantu Anda memulai. Dan kenyataannya adalah, baterai rata-rata hanya bertahan sekitar 5 hingga 8 tahun (walaupun beberapa jenis yang lebih baru diperkirakan akan bertahan 10 hingga 15 tahun), jadi Anda mungkin akan melewati beberapa set selama masa pakai sistem PV Anda, mempelajari apa yang berhasil terbaik di sepanjang jalan.

Satu aturan universal adalah menggunakan hanya baterai siklus dalam, yang dirancang untuk pelepasan dalam reguler dari sistem PV. Sebaliknya, aki starter, seperti aki mobil, dirancang untuk mengeluarkan semburan cepat untuk menghidupkan mesin, diikuti dengan pengisian ulang segera saat mesin hidup. Pengosongan yang dalam dari siklus pengisian ulang PV akan dengan cepat membunuh aki mobil.

**Jenis.** Ada beberapa opsi untuk jenis baterai yang sesuai, yang diuraikan dalam bagan di bawah ini. Jenis yang paling umum digunakan adalah timbal-asam, berkat kompromi harga dan umur panjangnya yang menarik. Baterai asam timbal (FLA) yang dibanjiri cenderung menawarkan kapasitas penyimpanan paling besar untuk uang dan merupakan pekerja keras dari sistem PV off-grid, tetapi baterai ini memerlukan perawatan rutin untuk memastikan umur panjang. Baterai timbal-asam yang disegel harganya sedikit lebih mahal per kapasitas penyimpanannya tetapi membutuhkan perawatan yang sangat sedikit (dan sering disebut baterai “bebas perawatan”). Dua jenis umum baterai tertutup adalah tikar kaca yang diserap (AGM) dan baterai sel gel. Dua jenis baterai siklus dalam lainnya, nikel-besi (NiFe) dan lithium-iron phosphate, (LiFeP) menawarkan masa pakai siklus yang jauh lebih besar dan oleh karena itu masa pakai yang lebih lama dan dapat mewakili masa depan sistem penyimpanan off-grid.

**Pemeliharaan.** Semua baterai harus dipantau secara teratur untuk memastikan pengisian dan pemakaiannya benar, tetapi dalam hal perawatan manual ini biasanya berarti baterai timbal-asam kebanjiran. Tugas pemeliharaan sederhana dan aman (jika dilakukan dengan benar) tetapi harus dilakukan secara teratur (lihat Pemeliharaan Baterai untuk Sistem Off-Grid).

**Biaya.** Bank baterai dapat berharga mulai dari sekitar Rp 30.000.000 hingga lebih dari Rp 150.000.000. Beberapa baterai paling mahal dirancang untuk bertahan 15 tahun atau lebih, tetapi banyak jenis memiliki harapan hidup standar 5 hingga 8 tahun. Bagaimanapun, masa pakai baterai tidak pernah dijamin dan dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu (beberapa baterai memiliki masa pakai yang lebih pendek jika terkena suhu tinggi) dan kedalaman pengosongan (kebanyakan baterai siklus-dalam hidup paling lama saat tidak lagi dikosongkan). dari 50%). Inilah sebabnya mengapa sering disarankan agar pemula di luar jaringan memilih "set starter" dari baterai yang relatif murah dengan masa pakai yang layak, seperti asam timbal yang tergenang atau baterai tertutup yang bebas perawatan. Jika mereka membuat beberapa kesalahan dan baterai tidak bertahan lama, lebih baik menghabiskan Rp 45.000.000 daripada Rp 150.000.000.

**Ukuran fisik.** Ukuran, bentuk, dan berat baterai biasanya bukan kriteria penting untuk sistem tenaga rumah, karena baterai secara permanen berada di beberapa jenis ruang utilitas, garasi, atau gudang dan hanya perlu dipindahkan saat diganti. Ketahuilah bahwa baterai itu berat (masing-masing berkisar antara 60 pon untuk versi kecil hingga 400 hingga 600 pon untuk baterai industri) dan bahwa semua baterai harus disimpan dalam wadah berventilasi dan berpenutup (lihat Kotak Baterai). Kesulitan memasukkan dan mengeluarkan baterai berat dari enklosur adalah hal lain yang perlu diingat sehingga aksesibilitas juga penting.

**Kapasitas.** Kapasitas baterai diukur dalam amp-jam. Baterai deep-cycle standar untuk sistem PV mungkin memiliki kapasitas individual mulai dari 100 hingga 500 amp-jam masing-masing. Untuk melihat bagaimana amp-jam diterjemahkan menjadi watt-jam atau kilowatt-jam yang dapat digunakan, kalikan peringkat amp-jam dengan tegangan baterai. Baterai 12 volt, 200 amp-jam dapat mengeluarkan energi 2.400 watt-jam, atau 2,4 kWh — dikurangi kerugian efisiensi dari mengubah daya DC baterai menjadi daya AC (berdasarkan efisiensi inverter) serta rugi-rugi kabel dan kerugian pelepasan baterai.

**Siklus hidup dan kedalaman debit.** Siklus hidup adalah perkiraan berapa kali baterai dapat menyelesaikan satu siklus pemakaian dan pengisian ulang. Dalam kondisi normal, baterai dalam sistem off-grid menyelesaikan satu siklus per hari. Peringkat masa pakai siklus untuk baterai siklus dalam dapat berkisar dari sekitar 500 hingga sekitar 3.000 siklus. Baterai siklus-dalam bertahan lebih lama jika dayanya tidak lebih dari 50% hingga 80% pada setiap siklus, tergantung pada jenis baterai. Baterai timbal-asam harus habis hingga 50%, sedangkan baterai nikel-besi (NiFe) dapat mentolerir hingga 80% pengosongan. Tidak ada baterai yang harus dikosongkan lebih dari 80%, yang secara signifikan mempersingkat masa pakainya. Perhatikan kedalaman pengosongan (DOD) yang direkomendasikan pabrikan saat membandingkan masa pakai siklus dan kapasitas baterai.

#### **Bagan Perbandingan Baterai\***

\*Nilai berdasarkan model baterai tertentu; akan bervariasi menurut pabrikan, model, dan kondisi pengoperasian.

#### **Banjir Lead-Acid (L-16)**

- TEGANGAN (KHUSUS) : 6 volt; juga tersedia dalam 2-volt
- KAPASITAS (PERINGKAT 20 JAM; DALAM JAM AMP): 370
- CYCLE LIFE — # OF CYCLES (@50% DEPTH-OF-DISCHARGE — DOD) : 1.650
- UKURAN (Kira-kira; LEBAR × DIAMETER × TINGGI) & BERAT: 11 3/4 × 7 × 17 1/2 inci; 118 pound
- HARGA: Rp 5.250.000 – Rp 6.000.000
- PERAWATAN REGULER?: Ya
- CATATAN: Lebih besar dari baterai timbal-asam tergenang standar yang digunakan untuk PV; selama bertahun-tahun dianggap sebagai standar industri untuk penyimpanan off-grid

#### **Banjir Lead-Acid (“Golf Cart”)**

- TEGANGAN (KHUSUS): 6-volt; juga tersedia dalam 8-volt
- KAPASITAS (PERINGKAT 20 JAM; DALAM JAM AMP): 225

- CYCLE LIFE — # OF CYCLES (@50% DEPTH-OF-DISCHARGE — DOD) : 1.650
- UKURAN (Kira-kira; LEBAR × DIAMETER × TINGGI) & BERAT: 10 3/8 × 7 1/8 × 11 3/4 inci; 60–70 pound HARGA: \$175–\$200
- PERAWATAN REGULER?: Ya
- CATATAN: Lebih kecil, ukuran "kereta golf" dari baterai timbal-asam yang terendam; model yang dirancang untuk PV memiliki tingkat pengosongan yang relatif lama untuk masa pakai baterai keseluruhan yang lebih lama

#### **Rups Tersedia (Lead-Acid)**

- TEGANGAN (KHUSUS) : 12 volt; juga tersedia dalam 2- dan 6-volt
- KAPASITAS (PERINGKAT 20 JAM; DALAM JAM AMP): 210
- HIDUP SIKLUS — # DARI SIKLUS (@50% KEDALAMAN-DISCHARGE — DOD): 1.350
- UKURAN (Kira-kira; LEBAR × DIAMETER × TINGGI) & BERAT: 21 × 8 1/4 × 8 1/2 inci; 133 pound HARGA: Rp 8.625.000 – Rp 9.750.000.000
- PERAWATAN REGULER?: Tidak
- CATATAN : Opsi standar untuk baterai asam timbal bebas perawatan

#### **Gel-Sel (Lead-Acid)**

- TEGANGAN (KHUSUS): 6-volt; juga tersedia dalam 12-volt
- KAPASITAS (PERINGKAT 20 JAM; DALAM JAM AMP): 210
- CYCLE LIFE — # OF CYCLES (@50% DEPTH-OF-DISCHARGE — DOD) : 1.000
- UKURAN (Kira-kira; LEBAR × DIAMETER × TINGGI) & BERAT: 9 5/8 × 7 1/2 × 11 5/8 inci; 69 pon
- HARGA: Rp 5.100.000 – Rp 5.700.000
- PERAWATAN REGULER?: Tidak
- CATATAN: Alternatif RUPS tertutup; membutuhkan tingkat pengisian yang lambat tetapi biasanya ini tidak menjadi masalah dengan PV

#### **Nikel-besi (nife) “batteri edison”**

- TEGANGAN (KHUSUS): Dirakit dalam paket 12-, 24-, dan 48 volt
- KAPASITAS (PERINGKAT 20 JAM; DALAM JAM AMP): 335
- CYCLE LIFE — # OF CYCLES (@50% DEPTH-OF-DISCHARGE — DOD) : 11.000 (@ 80% DOD)
- UKURAN (Kira-kira; LEBAR × DIAMETER × TINGGI) & BERAT: 55 × 11 × 17 3/4 inci; 480 pon
- HARGA: Rp 45.000.000
- PERAWATAN REGULER?: Ya
- CATATAN: Baterai 12 volt terdiri dari 10 sel baterai, masing-masing 1,2 volt; produsen mengklaim tidak ada korban jiwa dengan 80% DOD dibandingkan dengan 50% DOD

#### **Lithium Iron Phosphate (Lifep)**

- TEGANGAN (KHUSUS): Dirakit dalam paket 12-, 24-, dan 48 volt
- KAPASITAS (PERINGKAT 20 JAM; DALAM JAM AMP): 300
- CYCLE LIFE — # OF CYCLES (@50% DEPTH-OF-DISCHARGE — DOD) : 3.000

- UKURAN (Kira-kira; LEBAR × DIAMETER × TINGGI) & BERAT: 14 1/8 × 8 1/2 × 12 3/4 inci; 86 pon
- HARGA: Rp 37.500.000
- PERAWATAN REGULER?: Tidak
- CATATAN: Dianggap oleh beberapa orang sebagai masa depan baterai PV; tidak sama dengan baterai lithium-ion

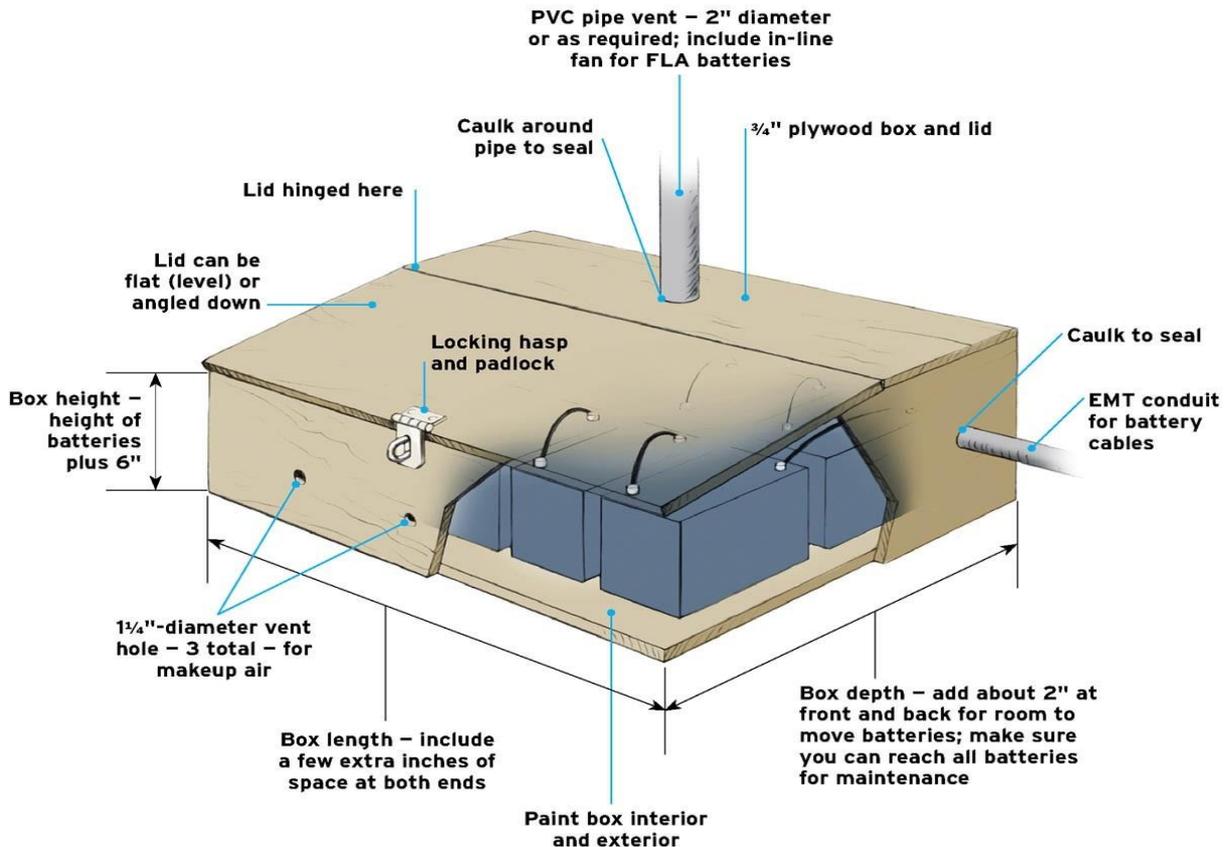


**Gambar 9.5** Berbagi Jenis Baterai Timbal-Asam

### Kandang Baterai

Bank baterai harus disimpan dalam wadah yang kokoh karena dua alasan yang sangat baik: (1) baterai mengandung tingkat listrik yang mematikan yang dapat dilepaskan hanya dengan menyentuh dua terminal baterai dengan bahan konduktif (alat logam, perkakas, mainan, dll.), dan (2) baterai mengeluarkan gas hidrogen eksplosif selama pengisian dan pemakaian normal. Untuk alasan yang sama, selengkap harus memiliki tutup yang dapat dikunci, dan harus berventilasi untuk membuang gas hidrogen ke luar ruangan.

Baterai timbal-asam yang tergenang memerlukan ventilasi aktif yang disediakan oleh kipas listrik yang menarik udara melalui pipa ventilasi dari wadah baterai ke luar ruangan. Baterai yang disegel juga membutuhkan ventilasi, tetapi biasanya ini bisa pasif, yang disediakan oleh pipa ventilasi tanpa kipas. Semua pipa ventilasi harus berakhir di luar ruangan.



**Gambar 9.6** Konstruksi lingkungan baterai

**PERINGATAN:** Jangan membuat kesalahan dengan menghilangkan penutup dengan alasan bahwa hanya orang dewasa yang tinggal di rumah dan/atau semua orang tahu tentang bahaya baterai. Itu seperti membangun dek tinggi tanpa pagar dan menyuruh semua orang untuk memperhatikan langkah mereka. Ini juga mengasumsikan bahwa anak-anak (atau hewan peliharaan) tidak akan pernah mengunjungi rumah Anda. Selain itu, penutup baterai diwajibkan oleh Kode Listrik Nasional.

Baterai bekerja paling baik dan bertahan paling lama bila disimpan pada suhu antara 50 dan 75 °F. Ini adalah alasan ketiga untuk menyimpannya di dalam kandang. Kotak melindungi baterai dari sinar matahari langsung, dan ruang tertutup membantu menjaga semua baterai pada suhu yang sama. Mengisolasi selungkup dianjurkan, tetapi perlu diketahui bahwa insulasi hanya memperlambat perpindahan panas (atau dingin) ke dalam dan ke luar kotak; itu tidak menaikkan atau menurunkan suhu di dalam kotak. Salah satu cara untuk melawan dingin di lokasi yang dingin adalah dengan memasang bohlam pijar kecil tidak lebih dari 40 watt yang dikendalikan oleh sakelar sensor suhu di dalam enklosur sehingga bohlam hanya menyala saat dibutuhkan.

Lebih baik jika enklosur berada di ruangan dengan suhu 50 hingga 75 °F. Namun, jika lantai menjadi sangat dingin, ada baiknya membuat kotak di atas alas berukuran 2x4 detik yang diisolasi dengan insulasi busa kaku untuk memberikan pemutusan termal antara kotak dan lantai. Kandang untuk sistem perumahan sering kali berupa kotak kayu lapis sederhana berukuran khusus untuk bank baterai. Saran untuk konstruksi kotak dasar ditunjukkan pada gambar Konstruksi Kandang Baterai. Untuk ini, Anda dapat menambahkan insulasi busa kaku,

jika ada (beberapa ahli juga ingin menyertakan lapisan papan semen yang tidak mudah terbakar), di sepanjang dinding interior. Ikuti persyaratan departemen bangunan setempat saat membangun kandang Anda sendiri.

Jenis lain dari kandang DIY termasuk kerangka yang terbuat dari saluran pembuangan logam (Unistrut adalah merek umum) dengan rak kayu lapis dan pintu bukaan depan atau lembaran Plexiglas yang dapat dilepas. Atau, beberapa produsen baterai menawarkan kotak logam yang dapat Anda gunakan untuk penutup. Tergantung pada ukuran baterai, ini dapat menampung sekitar empat hingga delapan baterai dan dapat ditumpuk, dengan penutup yang terbuka di bagian depan.

### **Pengkabelan Baterai-Bank**

Baterai bank biasanya kabel untuk 12, 24, atau 48 volt, angka yang dikenal sebagai tegangan nominal. Ingatlah bahwa ketika memasang kabel modul atau baterai secara seri, tegangan bertambah. Sebuah seri-string delapan baterai 6-volt (atau empat baterai 12-volt) memiliki tegangan nominal 48 volt. Ini adalah tegangan nominal yang paling umum digunakan untuk sistem PV off-grid perumahan.

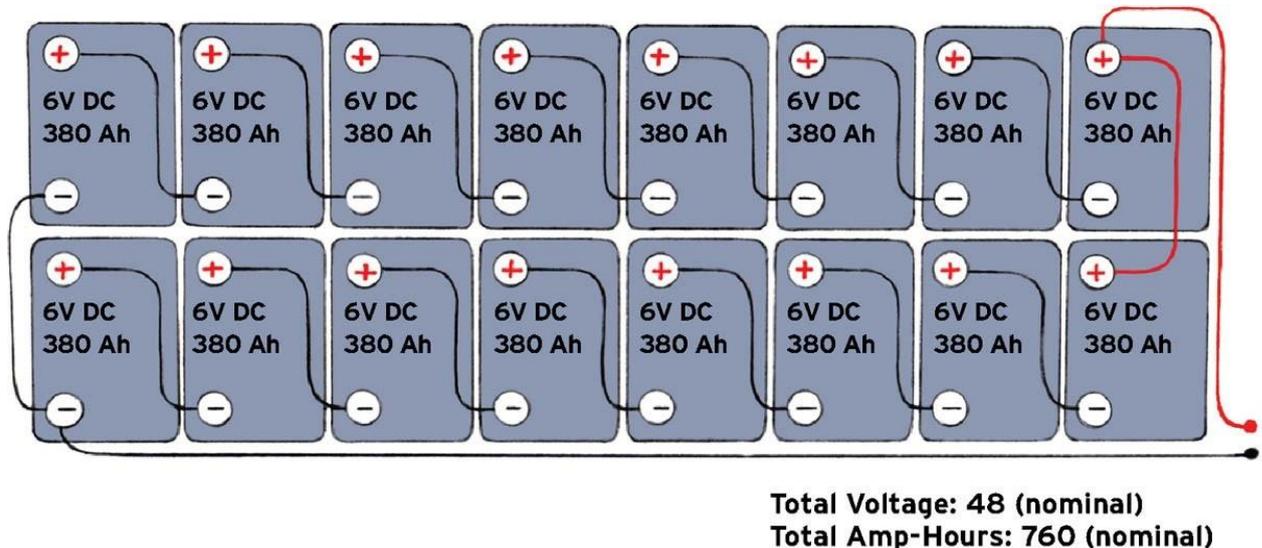
Bank baterai dengan beberapa rangkaian-seri disambungkan dengan cara yang mirip dengan beberapa rangkaian modul. Baterai di setiap seri-string terhubung positif (+) ke negatif (-). Di salah satu ujung senar, negatif dari dua baterai ujung bergabung. Di ujung yang lain, positif dari dua baterai ujung bergabung. Ini menghubungkan dua string seri secara paralel, sehingga peringkat amp-jam ditambahkan bersama-sama. Positif dan negatif dari ujung senar terhubung ke inverter DC-AC.

Bank baterai dapat dikonfigurasi dengan satu hingga empat rangkaian baterai yang disambungkan secara paralel. Menggabungkan lebih dari empat rangkaian rangkaian secara paralel bukanlah ide yang baik karena hal ini dapat menyebabkan pengisian daya yang tidak merata, yang mempersingkat masa pakai baterai.

Diagram pengkabelan di sebelah menunjukkan bank baterai dengan 16 baterai yang dihubungkan dalam dua rangkaian seri yang masing-masing terdiri dari 8 baterai. Tegangan baterai individu adalah 6 volt, dan masing-masing memiliki peringkat amp-jam 380 amp-jam. Oleh karena itu, setiap seri-string memiliki tegangan 48 volt dan kapasitas amp-jam 380 amp-jam. Ketika senar dihubungkan bersama secara paralel, kapasitas amp-jam berlipat ganda, dengan total 760 amp-jam pada 48 volt. Untuk mengonversinya ke kilowatt-jam, kalikan nilai amp-jam dikali tegangan, lalu bagi dengan 1.000:  $760 \times 48 \div 1.000 = 36,48$  kWh dari total kapasitas penyimpanan baterai.

Sekarang, sebelum Anda bersemangat dan mulai berpikir bahwa bank baterai sebesar ini akan memberi Anda daya lebih dari 36 kWh setiap hari, ingatlah bahwa baterai siklus-dalam (dan hampir semua baterai) tidak boleh kosong sepenuhnya. Jadi, Anda harus memperhitungkan kedalaman debit maksimum (DOD) yang disarankan ke dalam perhitungan Anda. Untuk baterai timbal-asam, DOD yang disarankan biasanya 50%. Oleh karena itu, Anda harus menggandakan kapasitas baterai yang diperlukan untuk memenuhi target daya karena Anda mengeluarkan baterai tidak lebih dari 50% sebelum mengisi ulang. Kapasitas penyimpanan yang dapat digunakan dari bank baterai di atas adalah  $36,48 \times 2 = 72,96$  kWh. Kami akan melakukan semua perhitungan ini dalam desain sampel kami di sini.

**PERINGATAN:** Arus mematikan dapat dilepaskan saat memasang kabel pada bank baterai. Sangat disarankan agar ini dilakukan oleh ahli listrik atau tenaga surya berlisensi dengan pengalaman baterai.



**Gambar 9.7** Pengkabelan Baterai-Bank

### Inverter Berdiri Sendiri

Inverter untuk sistem PV off-grid mirip dengan inverter string terikat jaringan tetapi dirancang untuk tegangan input DC yang jauh lebih rendah — biasanya 12, 24, atau 48 volt. Ini karena mereka menerima tegangan DC input dari bank baterai, bukan array PV. Pabrikan menggunakan kode standar untuk nama model yang menunjukkan peringkat daya maksimum dan tegangan baterai nominal. Ada empat angka dalam kode: dua angka pertama menunjukkan peringkat daya, dan dua angka terakhir menunjukkan voltase baterai. Misalnya, model dengan kode 3648 memiliki daya 3600 watt, atau 3,6 kW, pada tegangan bank baterai nominal 48 volt. Model dengan kode 2812 cocok untuk sistem 12 volt 2,8 kW. Beberapa sistem off-grid memerlukan lebih dari satu inverter, dan beberapa produsen inverter mandiri menawarkan pelat pemasangan di dinding untuk 1, 2, 3, atau 4 inverter serta beberapa pengontrol pengisian daya.

Output AC dari inverter yang berdiri sendiri hanya bisa 120 volt, atau bisa 120/240 volt, yang dikenal sebagai fase terpisah, yang memungkinkan sistem memberi daya pada peralatan 240 volt atau perangkat dengan permintaan tinggi seperti pompa sumur. Seperti sistem kelistrikan rumah tangga bertenaga utilitas standar, inverter fase terbagi menggunakan kombinasi dua sirkuit 120 volt (kadang-kadang disebut "kaki") untuk menyediakan daya 240 volt saat dibutuhkan. Beban yang membutuhkan daya 120 volt dapat disuplai oleh salah satu kaki 120 volt. Namun, karena bagaimana inverter ini dirancang, penting untuk menyeimbangkan beban 120 volt rumah di antara kedua kaki, karena setiap kaki biasanya memiliki output daya aktual yang sekitar 25% lebih kecil dari output terukurnya. Jika Anda berencana menggunakan inverter 120/240 volt, pastikan untuk memeriksa spesifikasi produk dan mendiskusikan aplikasi Anda dengan produsen inverter.

Sistem PV off-grid yang mencakup generator cadangan biasanya memiliki inverter yang berdiri sendiri dengan pengisi daya terintegrasi. Ini memungkinkan Anda untuk mengisi

*Instalasi Panel Listrik Surya (Dr. Agus Wibowo)*

baterai dari generator tanpa harus menggunakan unit pengisian terpisah. Dengan beberapa konfigurasi off-grid, generator (bukan baterai) digunakan untuk memberi daya pada beban besar selain untuk mengisi ulang baterai. Ini sering membutuhkan generator yang relatif besar, terutama jika harus menutupi beban lonjakan yang besar, seperti menyalakan pompa sumur. Alternatifnya adalah menggunakan generator yang lebih kecil yang berukuran untuk menangani beban rumah tangga biasa saat sedang mengisi daya baterai. Jika ada permintaan untuk beban lonjakan, inverter menarik dorongan daya sementara dari baterai untuk membantu generator (baterai memiliki daya cadangan bahkan saat sedang diisi ulang). Konfigurasi ini, kadang-kadang disebut "dukungan generator", memerlukan inverter dengan output yang dapat menutupi beban terbesar rumah tangga.

## 9.5 GENERATOR

Sebagian besar sistem PV off-grid menyertakan generator untuk daya cadangan ketika sistem PV tidak dapat memenuhi tuntutan beban listrik rumah tangga, biasanya selama hari-hari dengan cahaya redup di musim dingin atau periode mendung yang berkepanjangan. Generator juga berguna untuk menyamakan baterai (lihat Pemeliharaan Baterai untuk Sistem Off-Grid) dan untuk memberi daya (atau membantu memberi daya) beban signifikan yang jika tidak, akan menggunakan banyak daya yang tersimpan dalam baterai.

Ada banyak faktor yang perlu dipertimbangkan ketika memilih generator, termasuk ukuran bank baterai, beban rumah tangga, dan output AC dari PV inverter. Jika rumah hanya memiliki beban 120 volt, Anda dapat menggunakan generator yang menghasilkan tegangan hanya 120 volt. Tetapi jika rumah memiliki beban 240 volt, generator harus memiliki keluaran 120 dan 240 volt. Dalam hal ini, penting untuk memeriksa peringkat keluaran generator dengan hati-hati untuk memahami keluaran aktual pada tegangan 120 dan 240 volt. Seperti halnya inverter 120/240 volt yang berdiri sendiri (lihat di sini), mungkin ada pengurangan output saat menarik daya 120 volt. Generator biasanya berukuran untuk menutupi sedikit lebih banyak daya daripada kapasitas pengisian penuh inverter PV ditambah beban rumah tangga apa pun yang dapat berjalan bersamaan dengan pengisian daya baterai.

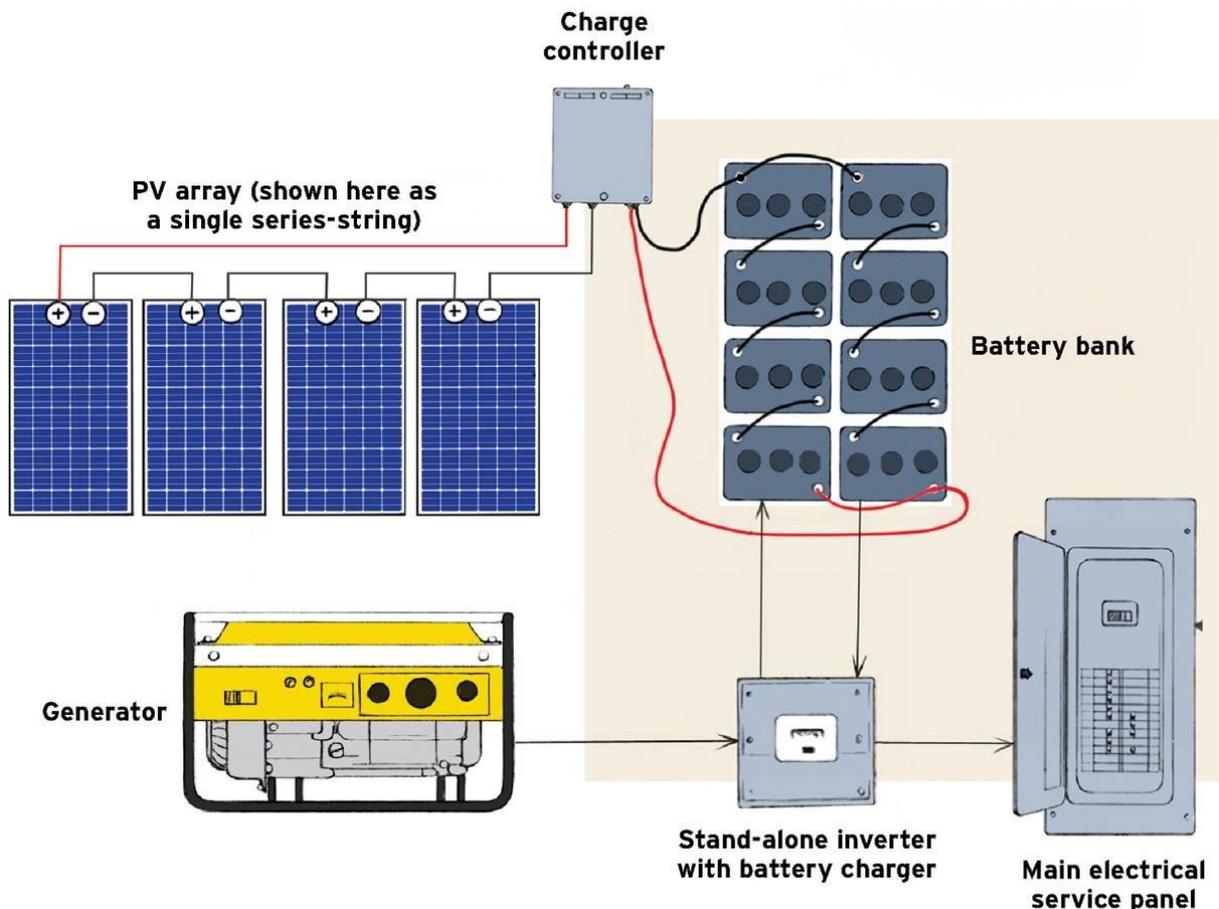
Jenis bahan bakar untuk generator antara lain propana, gas alam, bensin, dan solar. Jenis yang paling umum digunakan untuk sistem off-grid adalah propana, karena beberapa alasan. Rumah off-grid sering menggunakan propana untuk memasak dan pemanas, sehingga pasokan utama dan peralatan penyimpanan sudah ada. Propana juga disebut gas minyak bumi cair (LP) dapat disimpan dalam waktu lama dan dapat beroperasi pada suhu rendah. Sebaliknya, bensin lebih sulit dan berbahaya untuk disimpan, dan memiliki umur simpan yang relatif singkat. Diesel digunakan untuk banyak generator berkualitas tinggi (dan mahal), tetapi bahan bakar diesel bermasalah pada suhu di bawah titik beku, dan tidak membakar sebersih propana atau gas alam.

Generator tersedia dengan fitur remote dan/atau auto-start. Kemampuan jarak jauh memungkinkan Anda untuk memantau fungsi sistem dari dalam rumah Anda dan untuk memulai dan menghentikan generator dari jarak jauh. (Mereka biasanya dipasang di bangunan tambahan untuk menghilangkan risiko knalpot mematikan di rumah dan untuk mengurangi kebisingan dan bau.) Fungsi auto-start (auto generator start, atau AGS)

memungkinkan generator untuk dihidupkan secara otomatis oleh sistem PV inverter setiap kali tingkat pengisian bank baterai turun di bawah titik setel. Ingatlah bahwa mulai otomatis berarti generator dapat berjalan saat Anda tidur atau jauh dari rumah, saat Anda tidak dapat mengawasi sistem jika terjadi kesalahan. Mereka juga dapat gagal untuk memulai karena berbagai masalah, seperti baterai mulai mati, kehabisan bensin, gas buruk, dan sebagainya.

Dengan konfigurasi standar, generator cadangan terhubung ke inverter mandiri sistem PV (dengan pengisi daya terintegrasi). Inverter/pengisi daya memiliki sakelar transfer internal yang mengontrol aliran daya AC dari generator ke panel servis listrik utama rumah. Ini juga mengubah daya AC dari generator menjadi daya DC untuk mengisi baterai bank. Generator hanya terhubung ke inverter/charger dan tidak ke panel servis listrik utama.

**PERINGATAN:** Ingat, semua kabel AC harus dipasang oleh teknisi listrik berlisensi. Ini termasuk baterai, generator, dan kabel terkait.



**Gambar 9.8** Konfigurasi standar generator ke inverter sistem PV

### Sampel

#### Desain sistem off-grid

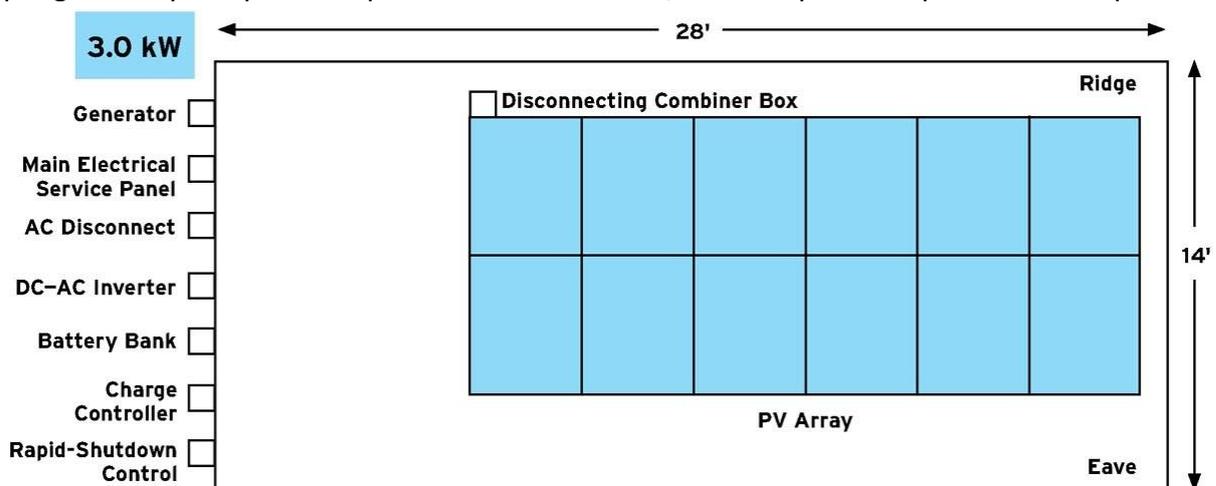
Seperti pada Bab 4, di sini kita akan membahas langkah-langkah untuk membuat tata letak array dan spesifikasi mekanik dan listrik untuk sampel sistem off-grid. Kami akan melewati sebagian besar desain mekanis untuk larik karena langkah-langkah ini tercakup dalam bab 4 dan sama untuk sistem grid-tied dan off-grid. Juga sama adalah komponen listrik

untuk kontrol shutdown cepat, pemutusan AC, dan koneksi ke panel servis listrik utama rumah.

Sebagian besar keunikan desain PV off-grid adalah dalam perhitungan listrik untuk menentukan ukuran sistem dan memilih peralatan. Proses dasar melibatkan lima langkah utama:

1. BEBAN: menghitung beban listrik rumah tangga
2. TUJUAN DAYA DC: mengukur susunan PV menggunakan PVWatt
3. MODUL PV: menjalankan spesifikasi modul dan menentukan tata letak fisik array
4. SPESIFIKASI SISTEM DC: perhitungan listrik untuk modul seri dan paralel-string, pengontrol muatan, dan inverter yang berdiri sendiri
5. BATERAI: mengukur bank baterai menggunakan spesifikasi model baterai

Desain sampel yang ditampilkan di sini adalah sistem 48 volt, 3 kW dengan susunan atap 12 modul yang disambungkan ke dalam empat rangkaian seri yang masing-masing terdiri dari tiga modul. Bank baterai memiliki 32 baterai timbal-asam yang dibanjiri (tipe L-16) dan mampu memberikan otonomi tiga hari. Ini memiliki satu inverter DC-AC dan satu pengontrol pengisian daya. Seperti sampel desain dalam bab 4, nilai sampel ditampilkan dalam tipe biru.



**Gambar 9.9** Layout array pv: 2 baris masing-masing 6 modul

### Spesifikasi Listrik Sistem

Orientasi Modul: Potret Azimuth: 205° Kemiringan: 23°

12	Total # Modul PV
3	# Modul PV dalam Seri
30,3 Volt	Tegangan Operasi Modul PV
90,9 Volt	Tegangan Operasi String
140.3	Voc String String Maksimum
4	# String Paralel Modul PV
32.9 Amps	Arus Total Ke Pengontrol Pengisian Daya
1	# dari SA Inverter (Pedalaman VFX3648)
1	# Pengontrol Pengisian Daya (Outback MX60)
90.9 Volts	Charge Controller Voltage IN (dari PV array)

48 Volt	Charge Controller Voltage OUT (ke Baterai)
6	Tegangan Baterai Individu
8	# Baterai dalam Seri
32	Total # Baterai

### Spesifikasi Modul Pv

- Model: Helios 6T-250
- $P_{\max} = 250$  Watt
- $V_{p_{\max}} = 30,3$  Volt
- $V_{oc} = 37,4$  Volt
- $I_{p_{\max}} = 8,22$  Amps
- $I_{sc} = 8,72$  Amps
- Panjang = 66.1 Inchi
- Lebar = 39,0 Inchi

24	# Footer
4	# Rel
238	Panjang Rel (inci)
8	# Klem Akhir
20	# dari Mid Clamp
12	# WEEB

### Baterai

L-16 Membanjiri Asam Timbal	Jenis
6 Volt	Tegangan Baterai Individu
390 Amp-jam	Kapasitas Baterai Individu
4	# String Baterai Paralel
1.560 (390 × 4) Amp-jam	Penyimpanan Baterai
48 Volt	Tegangan DC Sistem
74,88 (1.560 × 48 : 1.000) kWh	Total Penyimpanan
37,44 kWh	Total Penyimpanan yang Dapat Digunakan
Hari Otonomi:	37,44 (penyimpanan yang dapat digunakan) 12,29 (penggunaan harian rata-rata) = 3,0 @ 50% DOD

### 9.6 BEBAN LISTRIK TOTAL

- Total Beban Listrik Harian: 12,29 kWh
- Hari-hari Tujuan Otonomi: 3.0

### 9.7 OUTPUT SISTEM TOTAL (PVWATT)

- Watt (DC, sinar matahari puncak)
- kWh (AC, tahunan)

### 1. Beban Listrik

Hitung beban listrik harian Anda untuk seluruh rumah tangga Anda seperti yang dijelaskan dalam Menghitung Beban dan Hari Otonomi. Periksa ulang (dan periksa tiga kali) daftar Anda untuk memastikan Anda tidak melewatkan pengguna listrik dalam penghitungan. Juga ingat untuk mempertimbangkan waktu tahun dengan beban tertinggi. Hitung total beban harian Anda; kemudian kalikan hasilnya dengan 365 untuk menentukan beban tahunan.

Total beban harian: 12,29 kWh

Beban tahunan: 4.486 kWh

### 2. Ukuran Array PV

Tentukan ukuran array (tujuan daya DC) menggunakan PVWatt (lihat di sini). Masukkan input dasar pada halaman “Info Sistem” PVWatts, menggunakan 18% (disarankan) untuk kehilangan sistem. Bagilah hasilnya (nilai kWh/tahun pada halaman Hasil) dengan 365 untuk menemukan produksi daya harian; nilai ini harus lebih tinggi dari total beban listrik harian Anda (penggunaan).

Dalam desain sampel, array 3 kW (DC) akan menghasilkan 4.891 kWh/tahun, menurut PVWatt, untuk lokasi yang dipilih ini, azimuth array, dan kemiringan.

$$4.891 / 365 = 13,4 \text{ kWh/hari}$$

(ini lebih besar dari penggunaan 12,29 kWh/hari dalam sistem sampel)

### 3. Modul PV

Modul yang dipilih adalah model yang sama yang digunakan dalam desain bab 4, Helios 6T-250, dengan spesifikasi sebagai berikut:

$P_{\max}$ : 250 watt

$V_{p\max}$ : 30,3 volt

$V_{oc}$ : 37,4 volt

$I_{p\max}$ : 8,22 amp

$I_{sc}$ : 8,72 amp

Panjang: 66,1 inci

Lebar: 39 inci

Bagilah ukuran sistem DC (3 kW) dengan watt modul untuk menemukan jumlah modul dalam larik.

$$3.000 \text{ watt} / 250 \text{ watt per modul} = 12 \text{ modul}$$

**Catatan:** Jumlah total modul harus habis dibagi 3 atau 4 — jumlah maksimum modul di setiap rangkaian-seri ditentukan oleh pengontrol muatan (pengontrol muatan dengan peringkat maksimum tegangan sirkuit terbuka yang lebih tinggi dapat menangani rangkaian-seri dengan lebih banyak modul). Juga, ingat bahwa semua string-seri harus memiliki jumlah modul yang sama. Rencanakan tata letak fisik modul berdasarkan area instalasi yang tersedia (langkah 4 Desain Sampel 1).

#### 4. Spesifikasi Sistem DC

Selesaikan perhitungan listrik untuk modul, pengontrol muatan, dan inverter. Dalam desain ini, pengontrol muatan diberi peringkat untuk rangkaian seri yang masing-masing terdiri dari tiga modul.

# modul di setiap seri-string: 3

Volt operasi modul ( $V_{pmax}$ ): 30,3 volt

Tegangan operasi string:  $V_{pmax} \times \# \text{ modul per string}$

$$30,3 \times 3 = 90,9 \text{ volt}$$

Tegangan string maksimum: Modul  $V_{oc} \times \# \text{ modul per string} \times 1,25$   
(batas suhu ekstrem dari National Electrical Code)

$$37,4 \times 3 \times 1,25 = 140,3 \text{ volt}$$

**Catatan:** Nilai ini tidak boleh melebihi tegangan ekstrem maksimum yang diizinkan dari pengontrol muatan yang dipilih (150 volt dalam contoh ini)

# dari modul string paralel: 4 (12 modul total, dengan 3 modul di setiap seri-string, disambungkan secara paralel)

Total arus ke pengontrol muatan:  $I_{pmax} \times \# \text{ string paralel}$

$$8,22 \times 4 = 32,9 \text{ amp}$$

**Catatan:** Nilai ini harus lebih rendah dari nilai arus keluaran maksimum dari pengontrol muatan. Kebanyakan pengontrol untuk sistem off-grid perumahan diberi peringkat untuk 60 hingga 80 amp.

Tegangan pengontrol pengisian IN: 90,9 volt (tegangan operasi string — dari larik PV)

Tegangan pengontrol pengisian daya KELUAR: 48 volt (tegangan nominal bank baterai)

#### 5. Bank Baterai

Tentukan jumlah baterai dan tata letak kabel bank baterai menggunakan spesifikasi dari model baterai pilihan Anda, beban listrik harian, dan hari otonomi yang Anda inginkan. Anda dapat dengan cepat menjalankan perhitungan ini untuk membandingkan berbagai jenis dan model baterai untuk menentukan yang paling cocok untuk aplikasi Anda. Model yang ditampilkan di sini adalah baterai timbal-asam tipe L-16, 6 volt, yang dibanjiri dengan peringkat kapasitas 390 amp-jam. Baterai FLA tidak boleh habis lebih dari 50%. Oleh karena itu, kami akan menggandakan kapasitas baterai untuk memastikan depth of discharge (DOD) maksimum 50%. Pertama, perkirakan total kapasitas penyimpanan baterai yang diperlukan untuk memenuhi hari otonomi yang diinginkan:

Hari otonomi: 3

Beban listrik harian rata-rata: 12,29 kWh

$$3 \text{ (DOA)} \times 12,29 \text{ (kWh/hari)} = 36,87 \text{ kWh}$$

Selanjutnya, gandakan kapasitas penyimpanan yang diinginkan ke faktor untuk DOD 50%:

$$36,87 \times 2 = 73,74 \text{ kWh}$$

Konversikan ke watt-jam dengan mengalikan dengan 1.000:

$$73,74 \times 1.000 = 73.740 \text{ watt-jam}$$

Bagi dengan voltase bank baterai nominal untuk dikonversi ke amp-jam (watt-jam voltase = amp-jam):

$$73.740 \text{ watt-jam } 48 \text{ volt} = 1.536 \text{ amp-jam}$$

Selanjutnya, gunakan nilai total amp-jam untuk menentukan jumlah total baterai dan tata letak bank baterai. Pilih baterai apa saja untuk menjalankan perhitungan awal Anda; kemudian Anda dapat mencoba baterai yang berbeda untuk melihat pengaruhnya terhadap desain.

Spesifikasi baterai:

Model: L-16

Tegangan baterai individu: 6 volt

Kapasitas baterai: 390 amp-jam

Bagi total kebutuhan amp-hour dengan rating amp-hour baterai untuk menentukan jumlah string paralel yang diperlukan (ingat bahwa setiap seri-string baterai memiliki rating amp-hour yang sama dengan baterai tunggal):

$$1,536 / 390 = 3,94; \text{ membulatkan hingga 4 seri-seri paralel}$$

Setiap rangkaian-seri membutuhkan delapan baterai 6 volt untuk mencapai tegangan bank baterai nominal 48 volt; karena itu:

$$8 \text{ baterai per string} \times 4 \text{ string paralel} = \text{total 32 baterai}$$

Ingatlah bahwa semua senar-seri harus memiliki jumlah baterai yang sama (seperti halnya modul-modul yang dirangkai), jadi total baterai Anda harus habis dibagi 8. Dalam hal ini, 32 habis dibagi 8. Senar-seri disambungkan bersama-sama secara paralel, sehingga peringkat ampere mereka bertambah. Hitung total kapasitas amp-jam untuk model baterai yang dipilih:

Untuk 4 string paralel masing-masing 8 baterai:

$$\text{Peringkat } 390 \text{ amp-jam} \times 4 \text{ (string secara paralel)} = 1,560 \text{ amp-jam}$$

1,560 amp-jam melebihi tujuan Anda 1,536 amp-jam, jadi bank baterai ini cukup untuk memberikan otonomi tiga hari (sekali lagi, dengan DOD maksimum 50%).

## **BAB 10**

### **DI LUAR INSTALASI: TIPS MAINTENANCE SISTEM PV ANDA**

#### **10.1 TUJUAN PEMBELAJARAN**

Pelajari cara mematikan dan memulai sistem PV Anda, memecahkan masalah sederhana, dan memantau kinerja sistem sehari-hari.

Salah satu hal terbaik tentang sistem kelistrikan adalah mereka jarang membutuhkan perawatan. Mereka tidak bocor, membutuhkan perubahan filter, tersumbat, atau meminta penyetelan. Mereka tidak memudar atau mengelupas atau berkarat. Mereka bahkan tidak aus di masa mendatang. Dan sebagian besar, sistem PV tidak berbeda. Sejauh perawatan rutin berjalan, hanya ada satu item standar dalam daftar tugas: membersihkan modul sesering mungkin. Jika Anda merasa seperti itu. Ya, sistem off-grid memiliki baterai, beberapa di antaranya memerlukan perawatan, dan semuanya perlu diganti di kemudian hari (tetapi Anda tahu bahwa masuk ke ini, dan mungkin merasa itu adalah harga yang wajar untuk membayar kemandirian energi). Ini bukan untuk mengatakan bahwa sistem PV tidak pernah memiliki masalah. Tentu saja hal-hal bisa salah, tetapi ketika itu terjadi, solusinya cenderung sederhana dan biasanya melibatkan penggantian bagian yang dapat dipertukarkan. Kemudian sistem Anda kembali melayani Anda secara diam-diam, andal, tanpa diminta. Sangat mirip dengan matahari itu sendiri.

#### **10.2 ATURAN KEAMANAN PV**

Sebelum Anda melakukan pekerjaan apa pun pada perlengkapan atau stopkontak pada sistem kelistrikan AC rumah tangga biasa Anda (bukan sistem PV Anda), Anda mematikan pemutus (atau melepas sekering) pada sirkuit yang berisi perlengkapan atau stopkontak, dan yang secara andal mematikan daya ke perangkat. Jika Anda perlu bekerja di beberapa sirkuit atau Anda tidak yakin pemutus mana yang akan digunakan, Anda dapat mematikan pemutus utama untuk mematikan semua sirkuit di sistem rumah tangga. Namun, listrik dari saluran layanan utilitas (dan terminal yang terhubung ke panel layanan listrik utama) tetap hidup kecuali utilitas itu sendiri mematikan layanan listrik ke rumah Anda.

Sistem PV mengikuti aturan serupa. Anda menggunakan sakelar pemutus untuk mematikan sebagian besar sistem, tetapi susunan PV tetap hidup dan selalu menghasilkan listrik selama siang hari. Baterai dalam sistem off-grid selalu hidup kecuali baterai telah habis 100%. Inilah mengapa penting untuk memahami bagian mana yang terisolasi dan tidak terisolasi dari array dan sumber daya lainnya saat Anda mematikan pemutusan. Pertama, kita akan melihat aturan keselamatan PV; kemudian kita akan membahas prosedur shutdown untuk setiap jenis sistem PV.

##### **Aturan Keamanan PV #1:**

**Selalu matikan sistem PV dan pastikan daya dimatikan sebelum mengerjakan kabel apa pun.**

Bahkan sistem PV perumahan kecil menghasilkan lebih dari cukup arus listrik untuk membunuh Anda. Kecelakaan benar-benar dapat dicegah jika Anda mematikan daya secara efektif sebelum mengerjakan atau memelihara sistem. Ikuti prosedur yang benar untuk

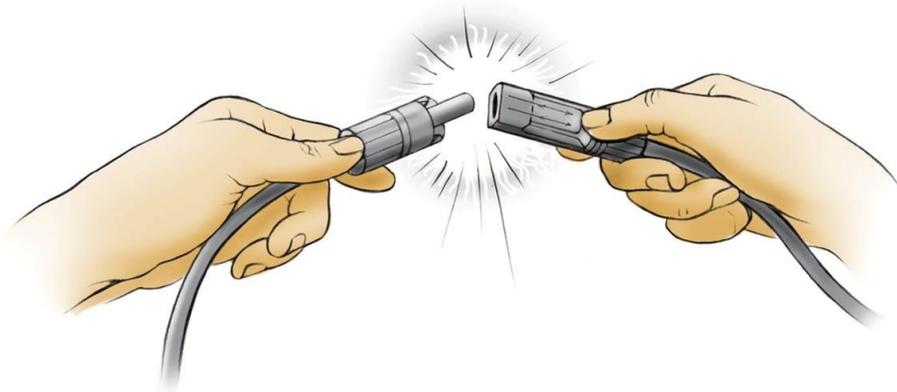
mematikan seluruh sistem PV (lihat di sini dan di sini). Jika Anda akan bekerja pada atau di dekat kabel apa pun, uji kabel dengan multimeter untuk memastikan bahwa daya telah dimatikan sebelum menyentuh kabel apa pun.

**Aturan Keamanan PV #2:**

**Jangan pernah menyambungkan atau memutuskan kabel di bawah beban.**

Beban adalah istilah umum untuk segala sesuatu yang memiliki efek menarik daya dari rangkaian listrik, menciptakan aliran arus. Berbahaya untuk memutus sirkuit saat arus mengalir. Jika Anda pernah mencabut kabel lampu dari stopkontak saat lampu masih menyala dan melihat percikan di ujung steker, Anda telah menyaksikan busur listrik. Ini adalah aliran listrik yang benar-benar melompat melalui udara antara stopkontak dan steker. Hal yang sama dapat terjadi ketika Anda mencolokkan lampu yang sudah dinyalakan. Listrik mulai mengalir sebelum steker terpasang sepenuhnya, menciptakan busur.

Saat melepas atau menyambungkan lampu di bawah beban memberi Anda sedikit percikan, melakukan hal yang sama dengan rangkaian modul PV (terutama rangkaian tegangan tinggi) dapat menghasilkan percikan yang sangat besar, sesuatu yang mungkin Anda gambarkan sebagai ledakan listrik di wajah Anda. Pencegahan bahaya busur api sederhana: matikan daya ke sistem PV sebelum bermain-main dengan kabel atau sambungan apa pun. Hal ini membuat Aturan Keselamatan PV #2 sangat mirip dengan Aturan #1, tetapi penting untuk memahami bagaimana, berkat busur, Anda dapat terluka oleh listrik bahkan saat Anda hanya menyentuh bagian kabel, fitting, dan sebagainya yang terisolasi.



**Gambar 10.1** Busur listrik dapat memberi Anda kejutan meskipun Anda tidak memiliki kontak langsung dengan konduktor listrik.

### 10.3 PROSEDUR SHUTDOWN DAN STARTUP

Perangkat shutdown utama untuk sistem PV adalah sakelar pemutus dan pemutus. Pada sebagian besar sistem, pemutus arus AC dapat "dikunci" dalam posisi OFF dengan mengamankan lengan sakelar di tempatnya dengan loop kawat kaku atau, lebih baik lagi, gembok atau perangkat pengunci listrik. Mengunci sakelar pemutus AC mencegah orang lain menyalakan listrik yang memberi makan rumah saat pekerjaan sedang dilakukan pada sistem rumah tangga. Jika sakelar memiliki kemampuan penguncian, gunakan itu.

Berbagai jenis sistem memiliki prosedur shutdown yang agak berbeda, dan penting untuk memahami bagian mana dari sistem yang dinonaktifkan (pada tegangan nol) dan bagian

mana yang tidak. Misalnya, pada sistem mikroinverter, mematikan pemutus arus AC akan mematikan daya di inverter mikro, yang secara efektif mematikan semuanya kecuali modul surya itu sendiri dan kabelnya. Dengan inverter string atau sistem off-grid, mengaktifkan pemutusan shutdown cepat mematikan daya di kotak combiner pemutus, yang berada dalam jarak 10 kaki dari array. Array dan semua kabel antara modul dan kotak penggabung tetap hidup. Satu-satunya cara untuk membuat modul surya berhenti menghasilkan listrik adalah dengan menutupnya sepenuhnya sehingga tidak ada cahaya yang masuk. Tapi itu jarang diperlukan untuk pemeliharaan sistem normal. Sistem off-grid juga memiliki baterai, dan baterai tidak dapat dimatikan; mereka mengandung jumlah energi yang berbahaya kecuali jika 100 persen habis.

Ketika saatnya untuk menghidupkan kembali sistem PV, penting untuk mengikuti urutan yang benar. Prosedur standar tercakup di sini, tetapi selalu ikuti instruksi produsen untuk langkah-langkah shutdown dan startup.

Teknisi listrik dan profesional lain yang bekerja dengan listrik memiliki teknik keselamatan sederhana untuk menghidupkan atau mematikan sakelar: berdiri di samping sakelar, memalingkan muka darinya, dan mengoperasikan sakelar hanya dengan satu tangan. Ini adalah kebiasaan yang baik untuk diadopsi.

#### **Cara Mati Sistem Grid-Tied Dengan String Inverter**

1. Aktifkan sakelar atau tombol pematian pada kotak kontrol pematian cepat sistem untuk mematikan daya antara kotak penggabung pemutus larik dan inverter.
2. Alihkan pemutus DC pada inverter ke posisi OFF (sakelar ini biasanya tidak memiliki kemampuan penguncian).
3. Buka pintu panel servis listrik utama dan alihkan pemutus PV ke posisi OFF. Jangan lepaskan bagian dalam, panel "depan mati" di dalam kotak panel servis.
4. Matikan inverter DC—AC. Beberapa inverter memiliki sakelar ON/OFF; yang lain mati saat pemutus AC dimatikan (langkah 5).
5. Pindahkan sakelar pemutus AC sistem ke posisi OFF, dan kunci.

**PERINGATAN:** Kontrol pematian cepat pemutus semua daya DC yang keluar pada kotak penggabung pemutus di dekat larik. Larik dan home run string yang mengarah ke kotak penggabung tetap hidup dan membawa tegangan selama siang hari. Karena sistem ini terikat jaringan, masih ada daya di panel layanan listrik utama, sistem kelistrikan rumah tangga, meteran bersih, dan kabel pintu masuk layanan utilitas.

#### **Untuk Memulai Sistem:**

1. Nyalakan inverter DC—AC, sesuai kebutuhan.
2. Pindahkan pemutus AC ke posisi ON.
3. Nyalakan pemutus PV di panel servis listrik utama, dan tutup pintu panel.
4. Atur ulang lengan sakelar secara manual pada kotak penggabung pemutus pada larik. Anda harus melakukan ini di kotak larik, bukan di kotak kontrol di permukaan tanah.
5. Putar sakelar pemutus DC pada inverter ke posisi ON.
6. Tunggu hingga inverter menyala dan menampilkan layar utamanya.
7. Periksa pembacaan inverter untuk memastikan sistem beroperasi secara normal.

### **Cara Mati Sistem Grid-Tied Dengan Mikroinverter**

1. Buka pintu panel servis listrik utama dan alihkan pemutus PV ke posisi OFF. Jangan lepaskan bagian dalam, panel "depan mati" di dalam kotak panel servis.
2. Pindahkan sakelar pada pemutusan AC sistem ke posisi OFF, dan kunci.

**PERINGATAN:** Prosedur mematikan ini mematikan daya AC pada mikroinverter, sehingga tidak ada tegangan dalam komponen sistem antara inverter mikro dan pemutus PV di panel servis utama. Karena sistem ini terikat jaringan, masih ada daya di panel layanan listrik utama, sistem kelistrikan rumah tangga, meteran bersih, dan kabel masuk layanan utilitas.

#### **Untuk Memulai Sistem:**

1. Nyalakan pemutus AC.
2. Nyalakan pemutus PV di panel servis listrik utama, dan tutup pintu panel.
3. Periksa sistem pemantauan data untuk memastikan sistem beroperasi secara normal.

### **Cara Mati Sistem Off-Grid**

1. Jika sistem memiliki generator, matikan pemutus generator untuk mematikan input daya AC dan nonaktifkan semua fungsi mulai otomatis.
2. Aktifkan sakelar atau tombol shutdown pada kotak kontrol shutdown cepat sistem PV. Jika sistem off-grid tidak memiliki shutdown cepat (banyak yang tidak), matikan semua pemutusan DC dari array PV.
3. Pindahkan sakelar pemutus AC sistem ke posisi OFF, dan kunci. Ini memastikan bahwa inverter tidak di bawah beban. Jangan pernah mematikan inverter di bawah beban!
4. Pindahkan pemutus DC untuk inverter ke posisi OFF (sakelar ini biasanya tidak memiliki kemampuan penguncian). Ini memastikan inverter tidak dapat memberikan output AC.
5. Matikan pemutus arus utama DC, yang akan mematikan pengontrol muatan PV.

**PERINGATAN:** Kontrol penonaktifan cepat memutus semua daya DC keluar yang dibuat oleh modul, bukan baterai — di kotak penggabung pemutus di dekat susunan. Larik dan home run string yang mengarah ke kotak penggabung tetap hidup dan membawa tegangan selama siang hari. Baterai dan semua kabel yang terhubung ke baterai tetap diberi energi penuh.

#### **Untuk Memulai Sistem:**

1. Nyalakan pemutus arus utama DC, yang akan menghidupkan pengontrol muatan dan/atau pemutus bank baterai.
2. Pindahkan pemutus DC untuk inverter ke posisi ON.
3. Pindahkan sakelar pemutus AC sistem ke posisi ON.
4. Setel ulang lengan sakelar secara manual pada kotak penggabung pemutus pada larik, jika sistem mati dengan cepat; Anda harus melakukan ini di kotak larik, bukan di kotak kontrol di permukaan tanah. Jika sistem tidak memiliki shutdown cepat, hidupkan semua pemutusan DC dari array PV.
5. Jika sistem memiliki generator, putar pemutus generator ke ON dan aktifkan fungsi mulai otomatis apa pun, sebagaimana berlaku.

**PERINGATAN:** Baterai selalu yang terakhir dimatikan dan yang pertama terhubung saat startup.



**Gambar 10.2** Kotak saklar penonaktifan

#### 10.4 PEMELIHARAAN DAN PEMECAHAN MASALAH

Tanpa bagian yang bergerak (kecuali jika Anda memiliki ground-mount dengan pelacakan), sistem PV grid-tied membutuhkan perawatan yang sangat sedikit. Pembersihan sesekali, inspeksi visual berkala, dan pemantauan terus-menerus dari output array adalah semua yang diperlukan dalam hal pemeliharaan rutin dan pemantauan sistem. Jika ada yang tidak beres, ada beberapa hal yang dapat Anda periksa sebelum menghubungi ahli surya atau teknisi listrik untuk meminta bantuan. Sistem off-grid melibatkan program perawatan sederhana yang sama untuk susunan tetapi juga mencakup tugas perawatan untuk baterai (hanya baterai timbal-asam yang tergenang).

##### **Membersihkan dan Memeriksa Array**

Pembersihan rutin tidak hanya membantu mengoptimalkan kinerja sistem tetapi juga memungkinkan inspeksi visual dari dekat terhadap modul, kabel, dan perangkat keras lainnya, hanya untuk memastikan semuanya terlihat baik-baik saja. Seberapa sering Anda perlu membersihkan tergantung pada kondisi setempat. Jika cuaca kering dan ada banyak debu di udara, Anda mungkin merasa bahwa membersihkan beberapa kali dalam setahun akan membantu. Akumulasi berat serbuk sari pohon juga memerlukan pembersihan, seperti halnya kotoran burung dan dedaunan dari pohon, yang secara efektif menaungi modul. Tetapi dengan banyak sistem, jika Anda memutuskan untuk melewati satu atau dua pembersihan musiman, itu mungkin akan berdampak kecil pada kinerja sistem rata-rata Anda, terutama jika

hujan sesekali mencuci modul untuk Anda. Dan, jika perlu, Anda selalu dapat menggunakan teropong untuk memeriksa susunan atap dari tanah.

Penghapusan salju juga merupakan ide yang bagus, tetapi secara umum, begitu matahari terbit, modul PV cenderung kehilangan lapisan saljunya lebih cepat daripada atap konvensional. Jika Anda benar-benar ingin menyapu salju dari modul Anda, lakukan tindakan pencegahan keselamatan saat naik ke atap yang tertutup salju.

1. Keselamatan pertama! Matikan sistem (lihat di sini untuk jenis sistem Anda). Gunakan peralatan penahan jatuh untuk semua pekerjaan atap (lihat Keselamatan Atap).
2. Bersihkan modul dari atas ke bawah, menggunakan air biasa dan spons non-abrasif atau lap kasar. Anda dapat menggunakan bantalan gosok sintetis untuk noda membandel, tetapi jangan gunakan pembersih logam (atau alat logam apa pun) atau pembersih abrasif apa pun, yang dapat menggores kaca modul.
3. Bilas modul dengan air biasa.
4. Peras gelas untuk menghilangkan tetesan air. (Tentu saja, Anda tidak membersihkan air setiap kali hujan badai, tetapi air hujan memiliki kandungan mineral yang sangat sedikit, tidak seperti air perkotaan yang “keras”, yang meninggalkan endapan mineral.) Anda mungkin ingin menggunakan alat pembersih jendela bergagang panjang (dengan spons dan squeegee di satu kepala) untuk mencapai modul interior.
5. Periksa modul dan kabel untuk masalah (lihat Apa yang Bisa Salah dengan Modul dan Kabel, sebaliknya) dan untuk bukti hewan kecil mengunjungi atau bersarang di bawah array, berpotensi mengunyah kabel. Jika ini merupakan masalah, Anda selalu dapat membuktikan array Anda (lihat di sini).

### **Penyelesaian Masalah**

Cara termudah untuk memeriksa kesehatan sistem PV Anda adalah melalui pemantauan data rutin, yang memungkinkan Anda untuk mengawasi faktor kinerja seperti output daya, tegangan dan arus array, dan produksi energi kWh. Jika Anda terbiasa memeriksa data secara teratur (Anda tidak perlu mempelajarinya), Anda akan segera menemukan pola fungsi normal dan mempelajari kinerja sistem Anda dalam kondisi yang berbeda. Ini menjadi dasar Anda untuk mengetahui kapan sesuatu tidak normal, seperti ketika output turun secara signifikan pada hari yang cerah. Saat masalah muncul, berikut beberapa hal mudah untuk diperiksa sebelum memanggil seorang profesional.

### **Jika Produksi Array/ Output Daya Anda Lebih Rendah Dari Normal, Mungkin Karena Satu Atau Lebih Dari Berikut:**

- Naungan
- Modul kotor / puing-puing pada modul
- Suhu lingkungan yang sangat tinggi (menurunkan efisiensi modul)
- Kabel rusak
- Modul yang buruk (dapat memengaruhi seluruh string)
- Baterai lama (untuk sistem off-grid, baterai mungkin perlu diganti setiap 5 hingga 8 tahun)

### Apa Yang Dapat Salah Dengan Modul Dan Kabel

Dalam kondisi normal, modul PV berkualitas yang ditempatkan online hari ini kemungkinan besar akan menghasilkan listrik dengan kecepatan yang hampir sama 30 tahun dari sekarang. Ketika masalah memang terjadi, biasanya berarti mengganti modul. Berikut adalah beberapa masalah yang mungkin Anda lihat dan indikasinya:

- **Kaca Retak.** Retakan dapat menyebabkan air masuk ke dalam modul, kemungkinan menyebabkan korosi, korsleting listrik, dan bahkan risiko sengatan listrik; mengganti modul.
- **Perubahan Warna Sel.** Sel dengan penampakan keruh dan keputihan dapat mengindikasikan intrusi air, hot spotting (di kanan), atau delaminasi sel dan kaca, meskipun delaminasi sekarang jauh lebih jarang daripada di masa lalu.
- **Sel Rusak / Rusak.** Kerusakan sel fisik sering kali disebabkan oleh kesalahan penanganan dan tertangkap selama pemasangan, tetapi hal-hal seperti hujan es dan tekanan suhu dapat menyebabkan sel retak atau rusak setelah pemasangan. Batang bus sel (dua pita atau strip logam yang berjalan vertikal di atas sel) sering menyatukan sel-sel yang rusak sehingga mereka terus bekerja. Jika tidak, kerusakan sel dapat membuat sirkuit terbuka yang membuat sel (bukan seluruh modul) tidak berfungsi.
- **Hot-Spotting.** Hot-spotting dapat terjadi ketika satu sel dalam serangkaian sel diarsir secara konsisten, yang mengarah ke konsentrasi daya di area kecil. Petunjuk visual dapat mencakup perubahan warna sel, korosi atau bintik hitam pada kabel sel atau batang bus, solder yang meleleh pada kabel antar sel, atau kaca retak. Sebagian besar modul saat ini dirancang dengan dioda bypass untuk membantu menghilangkan masalah akibat bayangan.
- **Kabel Modul/String Rusak.** Kabel yang dikunyah kemungkinan adalah pekerjaan tupai, rakun, atau anak nakal lainnya. Jika tidak, kabel yang rusak atau terputus dapat disebabkan oleh salju dan es yang meluncur, angin kencang, ranting atau serpihan lainnya, atau bahkan abrasi pada permukaan atap, jika kabel longgar dan menyentuh atap. Ganti kabel yang rusak, dan pastikan itu diamankan lebih baik dari pendahulunya. Jauhkan hewan dengan memasang penyaringan tepi (lihat di sini).

### Jika Sistem Tidak Menghasilkan Listrik Sama Sekali, Mungkin Karena Satu Atau Lebih Dari Berikut:

- Pemutus tersandung (periksa sistem secara visual untuk masalah yang jelas, lalu setelah pemutus; jika tersandung lagi, hubungi profesional)
- Sekering putus di kotak penggabungan
- Aktivasi shutdown cepat (lakukan restart untuk memeriksa) Papan kontrol yang gagal di inverter string
- Mikroinverter yang gagal
- Seseorang (seperti kontraktor) mematikan sistem PV saat mengerjakan sistem kelistrikan rumah dan tidak memulai ulang sistem PV.

**Jika Modul Individu Telah Offline (Sistem Microinverter Atau Dc Optimizer Saja), Dapat Menjadi Satu Atau Lebih Dari Berikut:**

- Sambungan kabel yang longgar atau kabel yang rusak antara modul dan mikroinverter atau mikroinverter dan kabel trunk AC
- Microinverter atau pengoptimal yang buruk (lebih mungkin)
- Modul yang buruk (kemungkinan kecil; pengalaman menunjukkan bahwa sementara elektronik dan baterai gagal, modul hampir tidak pernah melakukannya)

**Tip**

**Dapatkan Pandangan Yang Baik**

Gunakan senter dan cermin kecil untuk melihat ke bawah sel baterai untuk memeriksa ketinggian air.

**10.5 PEMELIHARAAN BATERAI UNTUK SISTEM OFF-GRID**

Hanya baterai timbal-asam yang kebanjiran yang memerlukan perawatan rutin (lihat catatan di bawah). Tugas rutin termasuk penyiraman (mengisi ulang baterai dengan air suling), biaya pemerataan, dan pengujian untuk berat jenis dan tegangan. Pemeriksaan visual cepat dan pembersihan terminal baterai, sesuai kebutuhan, dapat ditambahkan ke salah satu pemeriksaan rutin. Jadwal dan prosedur perawatan baterai khusus untuk setiap pabrikan dan model baterai; melakukan semua perawatan seperti yang diarahkan oleh pabrikan. Paragraf berikut menawarkan gambaran umum tentang apa yang diharapkan.

**Catatan:** Meskipun baterai yang disegel tidak memerlukan perawatan rutin, penting untuk memeriksanya secara berkala untuk memeriksa sambungan yang longgar atau korosi dan untuk membersihkan bagian atasnya sesuai kebutuhan. Ikuti rekomendasi pabrikan dan jadwal inspeksi.

**Penyiraman** biasanya diperlukan setiap 4 hingga 8 minggu, tetapi jadwal dapat sangat bervariasi. Saat baterai masih baru, ada baiknya untuk memeriksa ketinggian air sebulan sekali sampai Anda mengetahui seberapa sering mereka perlu diisi ulang, dan kemudian Anda dapat menyesuaikan jadwal sesuai kebutuhan. Isi ulang hanya ketika baterai terisi penuh, dan gunakan hanya air suling. Ikuti spesifikasi pabrik untuk ketinggian air. Jika Anda memeriksa ketinggian air saat baterai tidak terisi penuh, dan ternyata pelatnya terbuka, tambahkan air suling secukupnya untuk menutupi pelat. Isi daya baterai hingga penuh, lalu periksa level air dan tambahkan air hingga level yang ditentukan oleh pabrikan.

**PERINGATAN:** Baterai mengandung jumlah energi yang mematikan. Hati-hati saat membersihkan terminal dan menyiram. Jangan menyentuh terminal dengan tangan kosong. Menyentuh kedua terminal dengan alat logam atau bahan konduktif lainnya menciptakan korsleting yang menarik arus luar biasa yang mampu melelehkan alat dan menyebabkan kerusakan serius pada apa pun yang bersentuhan dengannya.

**Ekualisasi** adalah proses pengisian baterai yang berlebihan untuk membalikkan efek stratifikasi (ketika kadar asam menjadi lebih tinggi di bagian bawah baterai daripada bagian atas) dan sulfasi (penumpukan kristal sulfat di pelat), yang keduanya mempersingkat masa pakai baterai. Ikuti rekomendasi pabrikan untuk seberapa sering Anda harus menyamakan baterai Anda, yang memakan waktu 2 hingga 4 jam. Sebagian besar pengontrol muatan dapat

diprogram untuk memulai pemerataan pada jadwal yang ditetapkan. Selama pemerataan, periksa berat jenis setiap jam sampai tidak lagi naik, pada titik mana Anda harus menghentikan pemerataan. Karena kebanyakan susunan PV tidak cukup besar untuk menyamakan baterai dengan benar (dan energi matahari bergantung pada cuaca), kebanyakan orang dengan sistem off-grid menjalankan generator mereka untuk pemerataan.

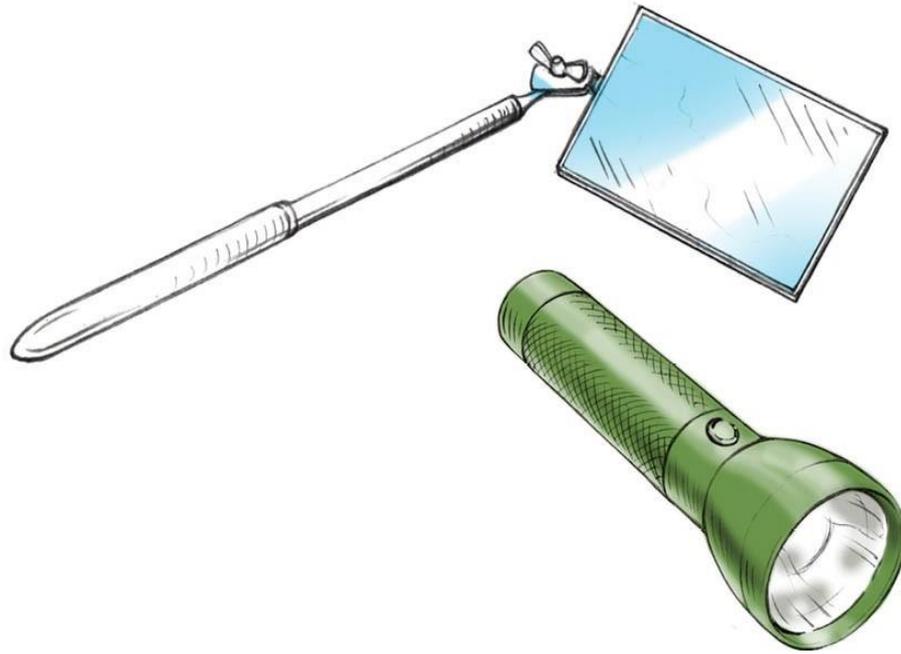
**Berat jenis** adalah ukuran kepadatan elektrolit dalam baterai. Tes gravitasi spesifik mengukur tingkat pengisian baterai dan dapat menunjukkan masalah yang dapat menyebabkan pengisian tidak lengkap. Ini adalah tes sederhana menggunakan alat murah yang disebut hidrometer. Pengujian harus dilakukan secara berkala, mengikuti rekomendasi pabrikan. Jika tes menunjukkan berat jenis yang rendah, pabrikan mungkin akan merekomendasikan Anda untuk melakukan pemerataan biaya.



**Gambar 10.3** Kacamata pengaman dan sarung tangan karet (harus dipakai untuk semua tugas perawatan)



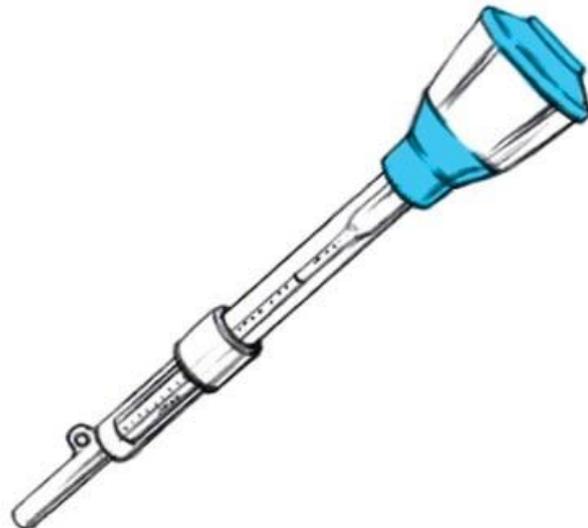
**Gambar 10.4** Air suling dan cangkir kertas atau gelas dengan cerat (untuk menyiram baterai)



**Gambar 10.5** Cermin dan senter (opsional)



**Gambar 10.6** Soda kue dan sikat kawat (untuk membersihkan terminal)



**Gambar 10.7** Hidrometer (untuk menguji berat jenis)

## 10.6 MEMANTAU SISTEM ANDA

Metode lama untuk memantau produksi sistem PV Anda adalah dengan melihat meteran bersih utilitas (hei, ini mundur!) dan untuk melihat tagihan listrik bulanan (apakah kami menurunkannya dan/atau mencapai nol bersih?!). Tetapi semua ini benar-benar memberi tahu Anda berapa banyak energi matahari yang Anda hasilkan relatif terhadap konsumsi energi Anda, setiap bulan. Jika hanya itu yang ingin Anda ketahui, metode pemantauan ini mungkin cocok untuk Anda. Namun ketahuilah bahwa jika ada masalah yang memengaruhi produksi energi Anda, Anda mungkin tidak mengetahuinya hingga tagihan utilitas berikutnya tiba.

Metode sekolah baru adalah dengan menggunakan sistem pemantauan data. Ini mungkin terdengar rumit dan cun, tetapi sistem pemantauan bisa sesederhana aplikasi ponsel cerdas yang melaporkan keluaran sistem Anda secara real time. Fungsi itu sendiri dapat mengingatkan Anda tentang masalah dengan sistem PV Anda yang mungkin perlu diperhatikan. Berikut adalah beberapa alat pemantauan lain yang tersedia; beberapa disertakan dalam aplikasi ponsel cerdas, sementara yang lain adalah fungsi perangkat lunak online yang Anda akses dengan komputer Anda:

- Output daya saat ini/terbaru (dapat dilaporkan secara berkala, tidak harus dalam waktu nyata atau seketika)
- Output daya harian (Watt atau kW versus waktu)
- Produksi sistem harian/bulanan/total (historis) (kWh versus waktu)
- Tegangan dan arus array/string (membantu untuk mengidentifikasi masalah dengan string modul individual)
- Performa modul individual (hanya tersedia dengan mikroinverter dan pengoptimal DC)
- Data cuaca saat ini dan historis
- Penghindaran emisi karbon: berapa banyak CO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> yang Anda hindarkan dari udara dengan menggunakan tenaga surya daripada sumber energi tak terbarukan
- Setara energi: membandingkan produksi matahari Anda dengan bentuk energi lain; beberapa perangkat lunak menghitung berapa banyak pohon yang Anda "tanam" atau berapa banyak mobil yang Anda "hapus dari jalan"
- Selfie energi yang memungkinkan Anda berbagi data secara online melalui media sosial (hal yang nyata, kecuali istilah selfie energi kami mengarangnya)

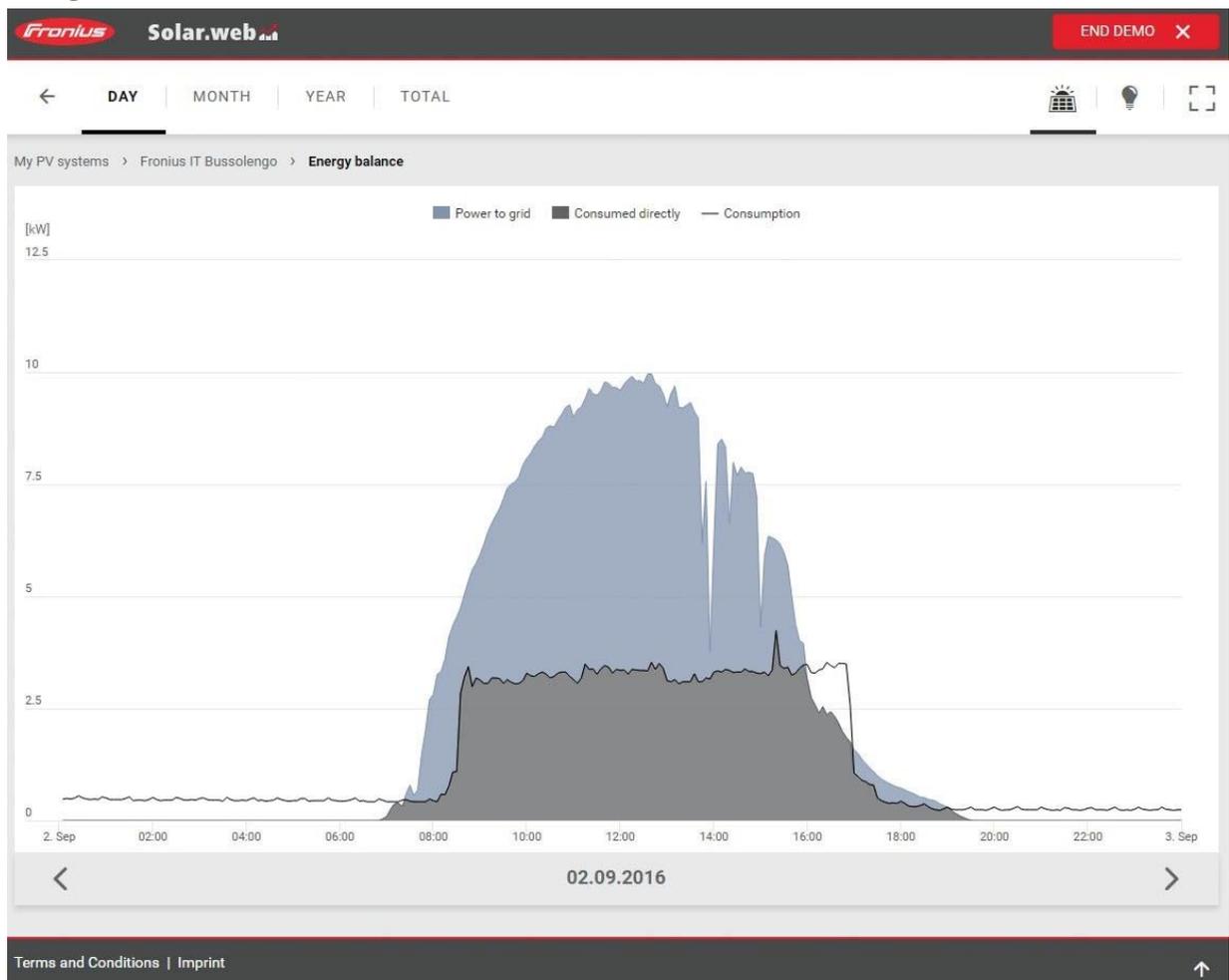


**Gambar 10.8** Unit monitor genggam atau yang dapat dipasang di dinding

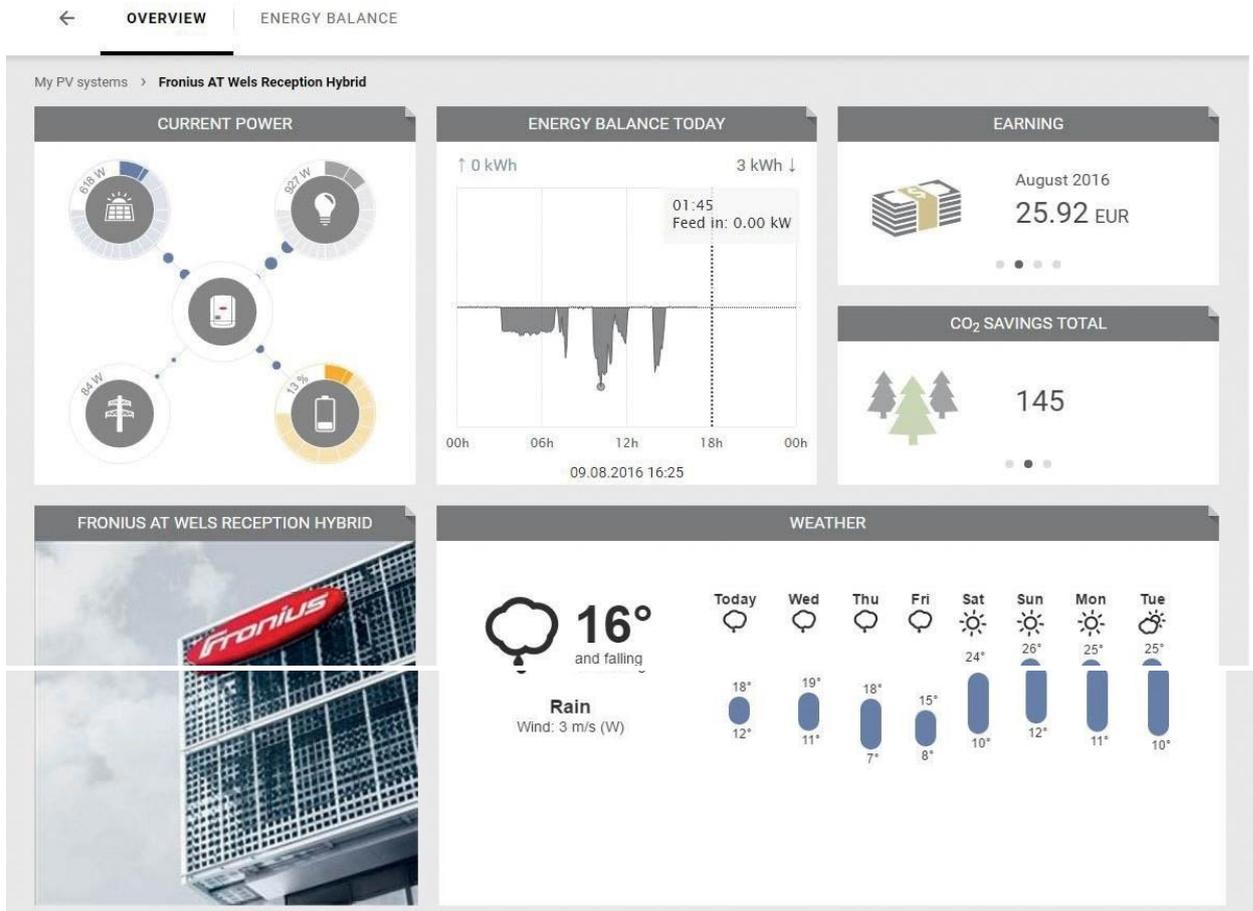
*Instalasi Panel Listrik Surya (Dr. Agus Wibowo)*

Sistem pemantauan data, layanan, dan perangkat lunak biasanya ditawarkan oleh produsen inverter. Ini masuk akal karena inverter adalah otak dari sistem PV. Ia tahu berapa banyak daya DC yang masuk dari array dan berapa banyak daya AC yang keluar. Sebagian besar titik data lainnya hanyalah cara berbeda untuk melihat informasi yang sama ini. Sistem pemantauan dapat dijual terpisah dari inverter, dan dapat berbentuk unit kontrol genggam atau papan kontrol tambahan yang dipasang di dalam inverter. Anda biasanya memesan ini saat membeli inverter.

Menghubungkan unit atau board ke Internet memerlukan kabel Cat-5 (kabel Ethernet) yang terhubung ke komputer atau router nirkabel Anda, atau Anda mungkin dapat terhubung dengan perangkat Wi-Fi. Sistem dengan beberapa inverter string dapat dirangkai bersama dengan kabel Cat-5 sebelum dihubungkan ke router. Atau, jika Anda memiliki inverter string, sistem pemantauan Anda bahkan tidak perlu terhubung ke Internet; Anda cukup menggunakan pembacaan digital pada unit inverter untuk memeriksa status sistem Anda. Tentu saja, sistem pemantauan terbaik adalah mata Anda sendiri. Jika Anda membutuhkan kacamata hitam, Anda tahu bahwa Anda menghasilkan banyak listrik. Semoga Anda terus menghasilkan listrik selama matahari bersinar!



**Gambar 10.9** Tampilan penggunaan pembacaan digital pada unit inverter untuk memeriksa status sistem



**Gambar 10.10** Program perangkat lunak pemantau data untuk sistem inverter string melaporkan arus dan tegangan string, keluaran daya, dan informasi penting lainnya. Selain itu, mereka biasanya menyimpan semua data sejak sistem pertama kali dimulai, sehingga Anda dapat meninjau seluruh riwayat sistem Anda.

## DAFTAR PUSTAKA

- D. Sera, R. Teodorescu, and P. Rodriguez, "PV panel model based on datasheet values," in Proc. IEEE Int. Symp. Ind. Electron., 2007, pp. 2392–2396.
- Fay Williams (1986), "The Handbook of Photovoltaic Applications", The Fairmont Press Inc., Georgia, 1986.
- Foster, Robert, dkk., Solar Energy : Renewable Energy and The Environment. Boca Raton, FL : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010.
- Gupta, V., Sharma, M., Pachauria, R. K., dan Dinesh B. K.N., 2019. Comprehensive review on effect of dust on solar photovoltaic system and mitigation techniques. India : EED, School of Engineering, University of Petroleum and Energy Studies, Dehradun.
- H. El-helw, M. Hassanien, H.A. Ashour, "Maximum power point tracking for irregular irradiance of a photovoltaic array", in Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 12th International Conference on Wroclaw, Poland, pp. 52 – 57, 5-8 May 2013.
- Haeberlin, H., Graf, J. D., 1998. Gradual reduction of PV generator yield due to pollution. Australia: Proceedings of the 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion 1998.
- Handini, W., 2008. Performa Sel Surya. Indonesia: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- He, G., Zhou, C., Li, Z., 2011. Review of Self-Cleaning Method for Solar Cell Array. China : School of Mechanical and Power Engineering, Chongqing University of Science and Technology.
- Ju, F., Fu, X., 2011. Research on impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance. China: International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE), Yichang.
- Lynn, P. A., 2010. Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics. United Kingdom : John Wiley & Sons, Ltd., Publicatio
- Nayar, C. V. dkk., "Novel Wind/Diesel/Battery Hybrid Energy System", Solar Energy, vol. 51, no.1, hal. 65-78, 1993.
- P. D. Maycock, "World PV Cell/Module Production," PV News, vol.25, no. 3, Mar. 2006.
- P. Harahap, "Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya," RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, vol. 2, no. 2, pp. 73–80, 2020.
- Paul D. Maycock and E.N. Stirewalt (1985), A Guide to the Photovoltaic Revolution, Rodale Press, Pensilvania, USA.
- Rajasekar.S, Rajesh Gupta, " Photovoltaic Array Based Multilevel Inverter for Power Conditioning" , IEEE Trans. Power electron., 2011.
- Rakhman, A. 2013. Jenis Sistem PLTS.
- S. Shapsough, M. Takrouri, R. Dhaouadi, dan I. Zualkernan, "An IoT-based remote IV tracing system for analysis of city-wide solar power facilities," Sustain. Cities Soc., vol. 57, no. 1–10, pp.1-10, 2020.

- Samsurizal, A. Makkulau, dan Christiono, "Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Arus Keluaran Pada Photovoltaic Dengan Menggunakan Regretion Quadratic Method," J. Energi Kelistrikan, vol. 10, no. 2, pp. 137–144, 2018.
- Santhiarsa IGN Nitya, Kusuma IGB Wijaya, (2005), Kajian Energi Surya untuk Pembangkit Energi Listrik, Teknologi Elektro, Vol(4) Januari-Juni.
- Sopian, K. dan Othman, M. Y., "Performance of a Photovoltaic Diesel Hybrid System in Malaysia", Iseco Science and Technology Vision, vol.1, hal. 37-39, May 2005.
- Strong, Steven J., The Solar Electric House, A Design Manual for Home-Scale Photovoltaic Power Systems, Pennsylvania : Rodale Press, 1987.
- Venkateswari, R. dan Sreejith, S., 2017. Factors influencing the efficiency of photovoltaic system. India : School of Electrical Engineering, Vellore Institute of Technology.

# Instalasi PANEL LISTRIK SURYA

**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 (UKSW) Salatiga. 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 978-623-5734-56-9 (PDF)



# Instalasi PANEL LISTRIK SURYA

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



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