PEMINDAHAN TANAH MEKANIS

UNTUK JURUSAN TEKNIK SIPIL



Samsul Arifin, S.T, M.T.

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK



Samsul Arifin, S.T., M.E., M.T.

PEMINDAHAN TANAH MEKANIS

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 978-634-7695-34-5 (PDF)
9 786347 695345

PEMINDAHAN TANAH MEKANIS

Penulis :
Samsul Arifin, S.T., M.E., M.T.

ISBN : 978-634-7695-34-5 (PDF)

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

Penyunting :
Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, M.M.

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)

Anggota IKAPI No: 279 / ALB / JTE / 2023

Redaksi :
Jl. Majapahit no 605 Semarang
Telp. (024) 6723456
Fax. 024-6710144
Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

Distributor Tunggal :
Universitas STEKOM
Jl. Majapahit no 605 Semarang
Telp. (024) 6723456
Fax. 024-6710144
Email : info@stekom.ac.id

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin dari penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas terselesaikannya buku ajar ini yang berjudul "Pemindahan Tanah Mekanis". Buku ini disusun untuk memenuhi kebutuhan akademik dan praktis mahasiswa serta dosen Teknik Sipil yang mendalami aspek teknis, manajerial, dan inovatif dalam pekerjaan pemindahan tanah menggunakan alat berat. Materi disajikan dengan pendekatan yang menggabungkan konsep teori mekanika tanah, ilmu mesin sederhana, serta analisis engineering yang aplikatif sehingga dapat digunakan sebagai referensi perkuliahan, bahan rujukan tugas akhir, dan pedoman praktis di lapangan.

Bab pembuka memperkenalkan pembaca pada filosofi dan definisi dasar pemindahan tanah mekanis, menelusuri perkembangan teknologi pemindahan tanah dari perspektif sejarah hingga praktik modern, serta membahas perbedaan paradigma antara teknik sipil dan teknik pertambangan dalam konteks pekerjaan tanah. Pada bab ini juga ditekankan urgensi penggunaan alat berat dalam konstruksi modern, ruang lingkup tahapan pekerjaan tanah, sifat fisik dan analisis volumetrik dasar tanah, serta contoh perhitungan engineering yang membantu pembaca memahami aplikasi konsep secara numerik. Bab ditutup dengan rangkuman yang menegaskan hubungan antara teori dasar dan aplikasi lapangan.

Bagian selanjutnya mengulas sifat fisik dan mekanika tanah secara lebih mendalam. Pembaca dipandu melalui klasifikasi tanah dari sudut pandang operasi alat berat, pembahasan sifat fisik utama material tanah, serta karakteristik mekanik dan daya dukung yang menjadi dasar perencanaan pekerjaan tanah. Transformasi volumetrik tanah ketika mengalami swell atau shrinkage diuraikan melalui rumus-rumus dasar beserta contoh perhitungan praktis, sehingga mahasiswa dapat menghitung perubahan volume dan faktor beban yang relevan pada perencanaan galian dan timbunan.

Bab yang membahas mekanika gerak alat berat memfokuskan pada prinsip-prinsip tenaga dan gaya yang mempengaruhi mobilitas dan kinerja unit alat berat. Pembahasan meliputi jenis-jenis tenaga pada mesin, tahanan gelinding, tahanan kelandaian, serta perhitungan tahanan total yang harus diatasi oleh alat selama operasi. Koefisien traksi dan kondisi traksi kritis dijelaskan untuk memberikan gambaran batas operasional unit, dilengkapi contoh analisis engineering yang relevan untuk perencanaan rute dan pemilihan mesin.

Pembahasan alat pengolah lahan menyoroti bulldozer dan ripper, menjelaskan filosofi kerja, peran traktor sebagai prime mover, serta anatomi komponen utama seperti blade dan ripper. Tipologi blade, operasi pembersihan lahan, dan analisis produktivitas disajikan untuk membantu perancangan aktivitas land clearing dan pemindahan material permukaan. Contoh-contoh perhitungan mendukung pemahaman produktivitas dan efisiensi alat.

Bab mengenai alat penggali dan pemuat memfokuskan pada excavator dan loader sebagai pasangan utama dalam siklus penggalian dan pemuatan. Struktur, jenis, dan operasi kedua tipe alat diuraikan, disertai analisis produktivitas teknik yang menilai kapasitas, cycle time, dan interaksi antara operator dan alat. Contoh-contoh perhitungan operasional memudahkan pembaca menerapkan metode perhitungan dalam studi kasus.

Pembahasan alat pengangkut dan pengelupas menguraikan peran scraper sebagai unit hibrida pengelupas-pengangkut dan dump truck sebagai unit pengangkut utama dalam proyek earthwork. Analisis waktu siklus, matching equipment, serta prinsip perencanaan armada untuk mengoptimalkan pergerakan material dibahas secara terperinci. Contoh perhitungan cycle time dan keseimbangan armada membantu dalam penyusunan strategi transport material.

Bab tentang pembentuk permukaan dan perataan menjelaskan fungsi motor grader, anatomi blade dan mekanika kontrolnya, serta teknik perataan untuk mencapai toleransi perencanaan. Analisis produktivitas dan contoh perhitungan memberi dasar teknis bagi kegiatan perataan jalan dan lahan kerja.

Pada bab tentang alat pemadat mekanis, pembaca akan menemukan filosofi pemadatan, mekanisme kerja berbagai tipe compactor, klasifikasi alat, serta teknik pengendalian mutu hasil pemadatan. Analisis produktivitas dan contoh perhitungan disertakan untuk membantu perencanaan siklus pemadatan dan pengukuran kualitas hasil kerja.

Pembahasan alat berat khusus dan pendukung konstruksi memuat jenis-jenis peralatan tambahan seperti alat pengangkat, peralatan penggali kontinu, fasilitas pemroses material, dan peralatan pembuat beton. Bab ini menekankan integrasi alat pendukung dalam rantai produksi proyek dan menyajikan contoh analisis engineering untuk mendukung keputusan pemilihan peralatan.

Bab tentang attachment dan inovasi komponen membahas filosofi attachment, klasifikasinya berdasarkan unit utama, serta inovasi seperti quick coupler yang meningkatkan fleksibilitas operasional. Perubahan komponen internal dan implikasinya terhadap produktivitas serta aspek perawatan dan keselamatan kerja juga dibahas.

Analisis produktivitas alat berat diuraikan dengan fokus pada signifikansi ekonomi, formulasi kapasitas produksi, analisis waktu siklus, faktor efisiensi kerja, dan faktor pengisian alat. Bab ini menyediakan alat ukur kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja operasi serta contoh perhitungan yang dapat digunakan pada studi kasus proyek nyata.

Bab mengenai analisis biaya operasional dan kepemilikan menyajikan struktur biaya alat berat, metode menghitung biaya kepemilikan dan biaya operasional, serta perhitungan total hourly cost dan biaya satuan. Pendekatan ini membantu mahasiswa memahami aspek ekonomi dalam keputusan fleet selection dan strategi efisiensi proyek.

Topik operasi, perawatan, dan keselamatan kerja (K3) membahas manajemen operasi alat berat, sistem perawatan yang efektif, pengaruh downtime terhadap efisiensi, serta prinsip-prinsip keselamatan kerja di lapangan. Bab ini menyertakan contoh perhitungan yang terkait dengan pengelolaan downtime dan perencanaan maintenance untuk menjaga kontinuitas produksi.

Perencanaan pekerjaan tanah dan volume metrik menguraikan filosofi perencanaan earthwork, tahapan sistematis perencanaan, serta metode perhitungan volume galian dan timbunan. Diagram massa dan contoh analisis volume metrik membantu pembaca merancang urutan kerja dan mengestimasi kebutuhan alat serta sumber daya.

Manajemen proyek dan optimasi armada membahas konsep matching equipment, formulasi match factor, optimasi cycle time, serta penerapan teknologi digital dalam manajemen armada. Bab ini mengintegrasikan pendekatan kuantitatif dan teknologi informasi untuk meningkatkan efisiensi operasional.

Bab penutup mengenai masa depan pemindahan tanah mekanis menyoroti digitalisasi dan konsep digital construction, termasuk transformasi alat berat menuju sistem digital, integrasi Building Information Modeling (BIM), pemanfaatan AI dan Internet of Things untuk monitoring dan optimasi, hingga perkembangan alat berat otonom serta praktik green construction yang berkelanjutan. Bab ini juga merefleksikan peran engineer Teknik Sipil dalam menghadapi perubahan teknologi dan menampilkan contoh analisis engineering di era digital. Kami menyusun buku ini agar mudah dipakai dalam proses pembelajaran dan aplikasi lapangan. Setiap bab dilengkapi contoh analisis engineering yang memuat hitungan dan jawaban sebagai sarana latihan dan verifikasi pemahaman. Harapan kami buku ini dapat menjadi referensi andal bagi dosen, mahasiswa, dan praktisi yang terlibat dalam perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan tanah mekanis.

Akhir kata, kritik dan saran yang konstruktif sangat kami harapkan untuk penyempurnaan edisi berikutnya. Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu tersusunnya buku ini.

Semarang, Juli 2026
Penulis

Samsul Arifin, S.T., M.E., M.T

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **ii**
DAFTAR ISI ..... **v**
BAB 1 PENDAHULUAN PEMINDAHAN TANAH MEKANIS **2**
1.1 Filosofi Dan Definisi Dasar 2
1.2 Evolusi Teknologi Pemindahan Tanah 3
1.3 Paradigma Ptm: Perspektif Teknik Sipil Vs Teknik Pertambangan 4
1.4 Urgensi Alat Berat Dalam Konstruksi Modern 4
1.5 Ruang Lingkup Tahapan Pekerjaan Tanah 5
1.6 Sifat Fisik Dan Analisis Volumetrik Tanah 5
1.7. Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 6
1.8 Kesimpulan Bab 1 7
BAB 2 SIFAT FISIK DAN MEKANIKA TANAH **8**
2.1 Pendahuluan 8
2.2 Klasifikasi Tanah Dalam Perspektif Alat Berat 8
2.3 Sifat Fisik Utama Material 9
2.4 Karakteristik Mekanik Dan Daya Dukung 9
2.5 Transformasi Volumetrik Tanah 10
2.6 Rumus Dasar Swell, Shrinkage, Dan Load Factor 11
2.7 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 11
2.8 Kesimpulan 12
BAB 3 MEKANIKA GERAK ALAT BERAT **13**
3.1 Pendahuluan 13
3.2 Jenis Tenaga Pada Alat Berat 13
3.3. Tahanan Gelinding (*Rolling Resistance* - RR) 14
3.4 Tahanan Kelandaian (Grade Resistance - GR) 15
3.5 Tahanan Total (Total Resistance - TR) 16
3.6 Koefisien Traksi Dan Traksi Kritis 16
3.7 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 16
3.8 Kesimpulan Bab 3 17
BAB 4 ALAT PENGOLAH LAHAN (BULLDOZER DAN RIPPER) **23**
4.1 Pendahuluan Dan Filosofi Kerja 23
4.2 Traktor Sebagai Prime Mover (Penggerak Utama) 23
4.3 Komponen Utama Bulldozer 24
4.4 Tipologi Blade (Pisau Dozer) 24
4.5 *Ripper* (Bajak Mekanis) 25
4.6 Operasi Pembersihan Lahan *(Land Clearing)* 25
4.7 Analisis Produktivitas Bulldozer 26
4.8 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 26
4.9 Rangkuman Bab 4 28
BAB 5 ALAT PENGGALI DAN PEMUAT (EXCAVATOR DAN LOADER) **33**
5.1 Pendahuluan 33
5.2 Alat Penggali (Excavator) 33
5.3 Alat Pemuat *(Loader)* 35
5.4 Analisis Produktivitas Engineering 36

5.5 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 36
5.6 Kesimpulan Bab 5 37
BAB 6 ALAT PENGANGKUT DAN PENGELUPAS (DUMP TRUCK DAN SCRAPER) 41
6.1 Pendahuluan 41
6.2 Scraper: Unit Hibrida Pengelupas-Pengangkut 41
6.3 Dump Truck: Unit Pengangkut Utama 42
6.4 Analisis Waktu Siklus (*Cycle Time)* 44
6.5 *Matching Equipment* (Keseimbangan Armada) 44
6.6 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 45
6.7 Rangkuman Bab 6 46
BAB 7 ALAT PEMBENTUK PERMUKAAN DAN PERATAAN (MOTOR GRADER) 50
7.1 Filosofi Dan Definisi Dasar 50
7.2 Fungsi Operasional Motor Grader 50
7.3 Anatomi Dan Komponen Utama 51
7.4 Mekanika Gerak Dan Kontrol Blade 52
7.5 Analisis Produktivitas Engineering 52
7.6 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 53
7.7 Kesimpulan Bab 7 54
BAB 8 ALAT PEMADAT MEKANIS (COMPACTORS) 56
8.1 Pendahuluan Dan Filosofi Pemadatan 56
8.2 Mekanisme Kerja Alat Pemadat 56
8.3 Klasifikasi Dan Tipologi Alat Pemadat 56
8.4 Analisis Teknik Dan Pengendalian Mutu 57
8.5 Analisis Produktivitas Engineering 58
8.6 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 58
8.7 Kesimpulan Bab 8 59
BAB 9 ALAT BERAT KHUSUS DAN PENDUKUNG KONSTRUKSI 63
9.1 Pendahuluan 63
9.2 Alat Pengangkat (*Lifting Equipment*) 63
9.3 Peralatan Penggali Kontinu Dan Spesialis 64
9.4 Fasilitas Pemroses Material *(Processing Plant)* 65
9.5. Peralatan Pembuat Beton 66
9.6 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 67
9.7 Rangkuman Bab 9 68
BAB 10 *ATTACHMENT* DAN INOVASI KOMPONEN ALAT BERAT 72
10.1 Pendahuluan 72
10.2 Filosofi Dan Pengertian Attachment 72
10.3 Klasifikasi Attachment Berdasarkan Unit Utama 73
10.4 *Quick Coupler*: Revolusi Fleksibilitas 74
10.5 Inovasi Komponen Internal Alat Berat 74
10.6 Analisis Teknik Dan Produktivitas (Contoh Soal) 74
10.7 Perawatan Dan Keselamatan Kerja 76
10.8 Rangkuman 76
BAB 11 ANALISIS PRODUKTIVITAS ALAT BERAT 80
11.1 Pendahuluan Dan Signifikansi Ekonomi 80
11.2. Formulasi Umum Kapasitas Produksi 80
11.3 Analisis Waktu Siklus (*Cycle Time* - $\boldsymbol{Cm}$) 81

11.4 Faktor Efisiensi Kerja *(E)* 82
11.5 Faktor Pengisian Alat (Fill Factor – *K*) 82
11.6 Optimasi Armada: Matching Equipment 83
11.7 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 84
11.8 Monitoring Dan Pengendalian Produksi 85
11.9 Kesimpulan Bab 11 85
BAB 12 ANALISIS BIAYA OPERASIONAL DAN KEPEMILIKAN 86
12.1 Pendahuluan Dan Signifikansi Ekonomi 86
12.2 Struktur Klasifikasi Biaya Alat Berat 86
12.3 Analisis Biaya Kepemilikan (*Ownership Cost*) 86
12.4 Analisis Biaya Operasional (*Operating Cost*) 88
12.5 Total *Hourly Cost* Dan Analisis Biaya Satuan 89
12.6 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 89
12.7 Strategi Efisiensi Proyek 90
12.8 Kesimpulan Bab 12 90
BAB 13 OPERASI, PERAWATAN, DAN KESELAMATAN KERJA (K3) 93
13.1 Pendahuluan 93
13.2 Manajemen Operasi Alat Berat 93
13.3 Sistem Manajemen Perawatan *(Maintenance)* 94
13.4 Downtime Dan Efisiensi Alat 94
13.5 Keselamatan Kerja (K3) Operasional 95
13.6 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 95
13.7 Rangkuman Bab 13 97
BAB 14 PERENCANAAN PEKERJAAN TANAH DAN VOLUME METRIK 99
14.1 Filosofi Perencanaan Pekerjaan Tanah (*Earthwork*) 99
14.2 Tahapan Sistematis Perencanaan *Earthwork* 99
14.3 Analisis Volume Metrik Dan Transformasi Tanah 100
14.4 Metode Perhitungan Volume Galian Dan Timbunan 101
14.5 Diagram Massa (*Mass Diagram*) 101
14.6 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 102
14.7 Kesimpulan Bab 14 103
BAB 15 MANAJEMEN PROYEK DAN OPTIMASI ARMADA (FLEET MANAGEMENT) 107
15.1 Pendahuluan Dan Filosofi Sistem 107
15.2 Konsep Matching Equipment (Penyelarasan Alat) 107
15.3 Analisis Kuantitatif: *Match Factor (Mf)* 108
15.4 Optimasi Waktu Siklus (Cycle Time Optimization) 109
15.5 Contoh Analisis Engineering (Hitungan Dan Jawaban) 109
15.6 Penerapan Teknologi Digital Dalam Manajemen Armada 110
15.7 Kesimpulan Bab 15 111
BAB 16 MASA DEPAN PTM: DIGITALISASI DAN *DIGITAL CONSTRUCTION* 117
16.1 Pendahuluan: Paradigma Baru Konstruksi Cerdas 117
16.2 Transformasi Teknologi Alat Berat: Dari Manual Ke Digital 117
16.3 *Building Information Modeling* (Bim) Dalam Pekerjaan Tanah 118
16.4 Kecerdasan Buatan (AI) Dan *Internet Of Things* (IoT) 119
16.5 Alat Berat Otonom *(Autonomous Equipment)* 120
16.6. Green Construction Dan Keberlanjutan *(Sustainability)* 120
16.7 Contoh Analisis Engineering Di Era Digital (Hitungan Dan Jawaban) 121

16.8 Peran Engineer Teknik Sipil Di Masa Depan 122
16.9 Rangkuman 122
DAFTAR PUSTAKA 125

Bagian I
Fondasi dan Konsep Dasar

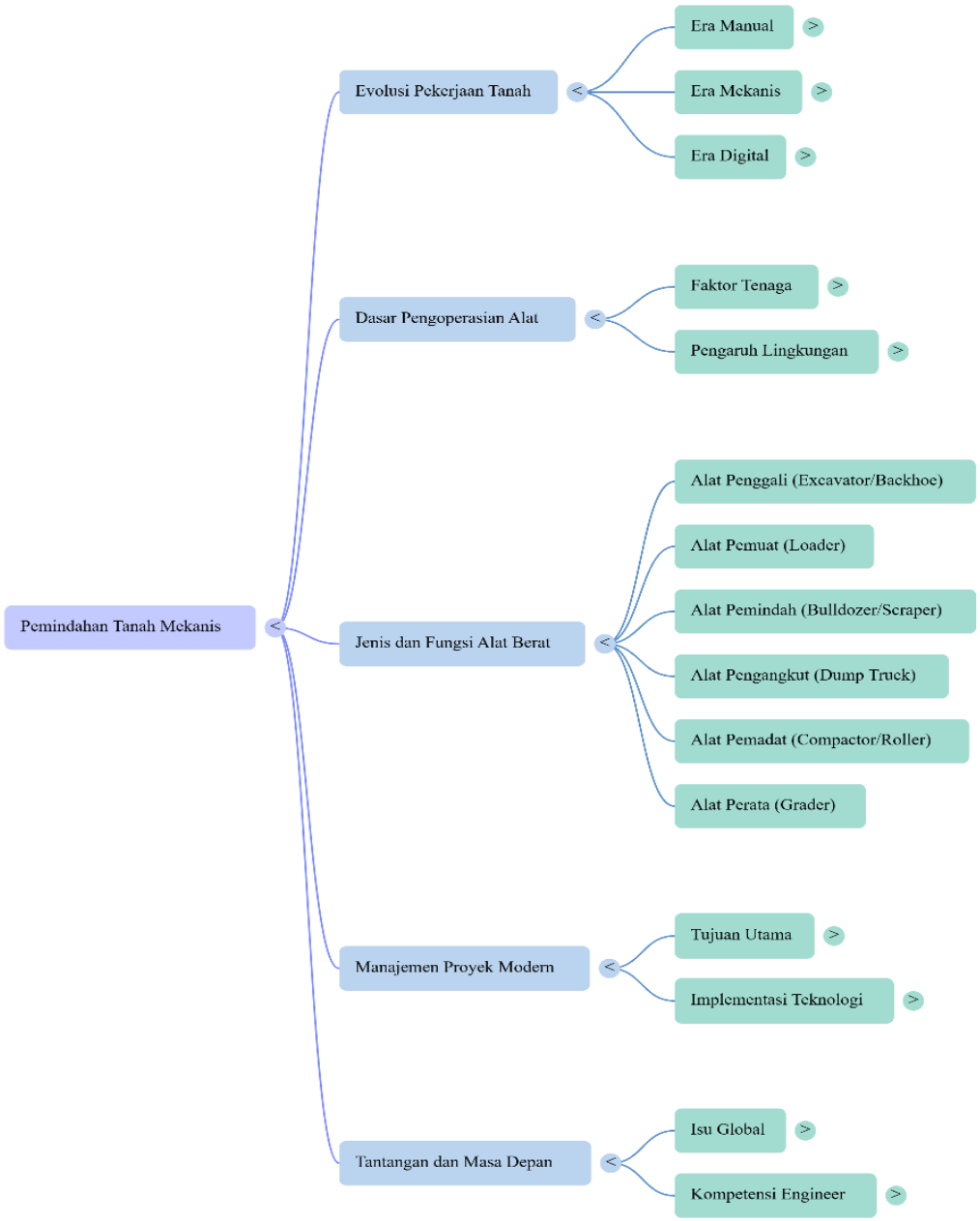
BAB 1
PENDAHULUAN PEMINDAHAN TANAH MEKANIS

1.1 FILOSOFI DAN DEFINISI DASAR

Pemindahan Tanah Mekanis (PTM) adalah rumpun ilmu dan teknik dalam bidang Teknik Sipil dan Pertambangan yang mempelajari proses pemindahan material tanah atau batuan dari satu lokasi ke lokasi lain dengan bantuan tenaga mekanis atau alat-alat berat guna mencapai target volume secara efisien. Dalam prakteknya, PTM tidak hanya sekadar memindahkan massa tanah, tetapi melibatkan perubahan tata letak material dan transformasi sifat fisik material yang dipicu oleh interaksi antara alat dengan unsur tanah itu sendiri.



Perubahan kondisi material selama proses mekanis menciptakan perlawanan (*resistance*) terhadap alat pemindahnya. Tingkat kesulitan dalam pengolahan material sangat bergantung pada jenis tanah (lempung, pasir, atau batuan) yang memberikan perlawanan berbeda terhadap daya gali (*digging force*) dan daya dorong (*shoving*). Oleh karena itu, PTM merupakan disiplin ilmu yang mengintegrasikan rekayasa geoteknik, mekanika alat berat, dan manajemen operasional proyek.



Gambar 1.1 Skema Materi Pemindahan Tanah Mekanis

1.2 EVOLUSI TEKNOLOGI PEMINDAHAN TANAH

Transformasi teknologi dalam pekerjaan tanah mencerminkan perkembangan peradaban infrastruktur global. Evolusi ini dibagi menjadi tiga era utama:

1.2.1 Era Manual (Tradisional)

Pada masa awal perkembangan konstruksi, pekerjaan galian dan timbunan dilakukan sepenuhnya menggunakan tenaga manusia dan hewan. Alat bantu yang digunakan sangat terbatas, seperti cangkul, sekop, keranjang, dan gerobak dorong. Karakteristik utama era ini adalah produktivitas yang sangat rendah, ketergantungan pada jumlah tenaga kerja yang masif, serta durasi pengerjaan yang sangat lama untuk volume pekerjaan yang kecil.

1.2.2 Era Mekanis (Modernisasi Diesel)

Penemuan mesin diesel menjadi titik balik utama dalam sejarah PTM. Munculnya Bulldozer sebagai alat berat pionir memungkinkan penggusuran dan perataan tanah dalam skala besar yang mustahil dilakukan manusia. Perkembangan selanjutnya melahirkan Excavator untuk penggalian presisi dan Dump Truck untuk pengangkutan volume besar dalam waktu singkat. Mekanisasi ini meningkatkan kapasitas produksi secara drastis, sehingga memungkinkan pembangunan mega-proyek seperti bendungan besar, jalan tol antar kota, dan bandar udara.

1.2.3 Era Digital (Smart Construction)

Saat ini, dunia konstruksi memasuki era *Smart Construction Technology*. Alat berat tidak lagi dipandang hanya sebagai mesin mekanis, tetapi telah menjadi bagian dari sistem digital yang terhubung secara *real-time*. Inovasi utama dalam era ini meliputi:

- *GPS Machine Control*: Memungkinkan alat berat beroperasi dengan akurasi elevasi hingga milimeter tanpa patok survey manual.
- *Telematics & IoT*: Monitoring kesehatan mesin dan konsumsi bahan bakar dari jarak jauh melalui sensor.
- *Autonomous Equipment*: Pengembangan alat berat tanpa operator yang dikendalikan oleh sistem koordinasi berbasis AI dan satelit.

1.3 PARADIGMA PTM: PERSPEKTIF TEKNIK SIPIL VS TEKNIK PERTAMBANGAN

Meskipun prinsip mekanisnya serupa, terdapat perbedaan fundamental dalam penerapan PTM di kedua sektor ini:

1. Sektor Teknik Sipil: Berorientasi pada pembangunan infrastruktur permanen (jalan, bendungan, gedung) dengan masa pakai jangka panjang (>100 tahun). Pekerjaan ini sangat terikat oleh regulasi keselamatan publik (*design codes*) yang kaku guna mengeliminasi peluang kegagalan struktur.
2. Sektor Teknik Pertambangan: Berfokus pada pemindahan lapisan tanah penutup (*overburden*) dan pengambilan mineral. Operasinya lebih dinamis dengan faktor keamanan yang lebih berani demi mengejar efisiensi produksi yang tinggi.

1.4 URGENSI ALAT BERAT DALAM KONSTRUKSI MODERN

Penggunaan alat berat menjadi kebutuhan primer dalam proyek teknik sipil kontemporer karena alasan berikut:

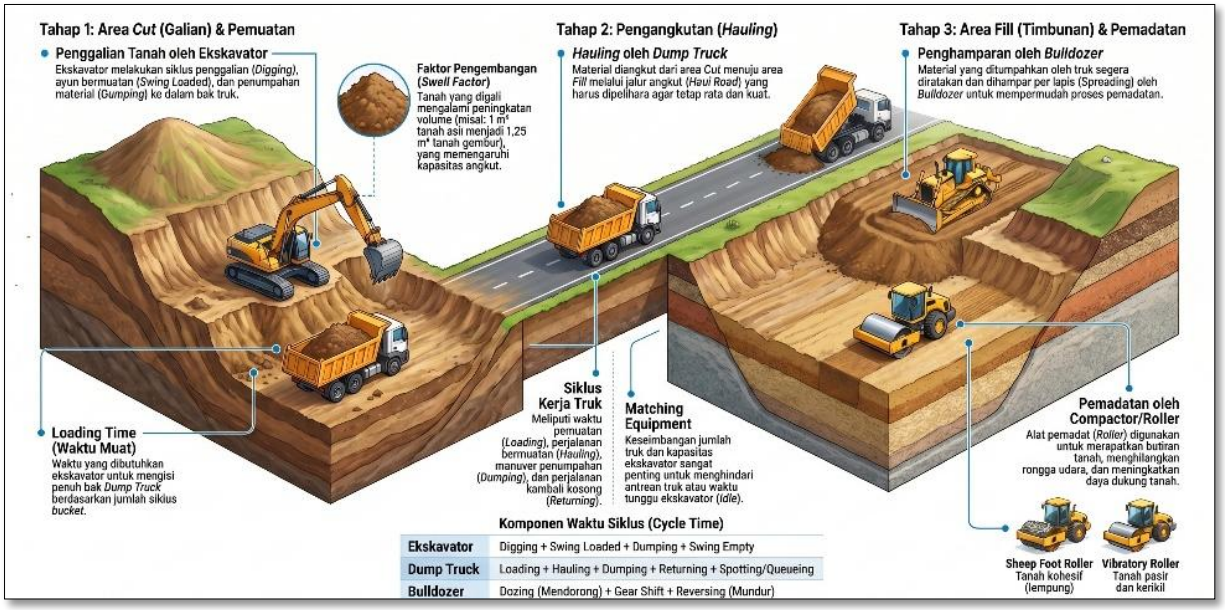
- Akselerasi Pelaksanaan: Mempercepat penyelesaian pekerjaan volume besar yang memiliki target waktu ketat.
- Kapabilitas Teknis: Melaksanakan jenis pekerjaan yang terlalu sulit atau berbahaya jika dikerjakan manual (misal: penggalian batuan keras atau di bawah air).
- Efisiensi Biaya: Secara kumulatif, biaya per meter kubik (m^3) pemindahan tanah dengan alat berat jauh lebih murah dibandingkan tenaga manusia massal.

- Kualitas dan Presisi: Menjamin hasil kepadatan tanah dan elevasi permukaan yang sesuai dengan standar teknis galian-timbunan.

1.5 RUANG LINGKUP TAHAPAN PEKERJAAN TANAH

Berdasarkan siklus operasionalnya, PTM mencakup rangkaian aktivitas sistematis berikut:

1. *Land Clearing:* Pembersihan lahan dari vegetasi, semak, dan pepohonan menggunakan bulldozer atau excavator.
2. *Stripping Top Soil:* Pengupasan lapisan tanah atas yang mengandung bahan organik agar tanah dasar menjadi stabil.
3. *Excavating (Cut):* Penggalian material dari posisi aslinya di alam.
4. *Hauling:* Pengangkutan material hasil galian menuju lokasi penempatan atau pembuangan menggunakan *dump truck*.
5. *Spreading & Grading:* Penghamparan material lapis demi lapis (20-30 cm) dan pembentukan permukaan sesuai elevasi desain menggunakan *motor grader*.
6. *Compaction:* Pemadatan mekanis untuk meningkatkan daya dukung tanah dan mencegah penurunan (*settlement*) di masa depan.



Gambar 1.2 Siklus Cut and Fill Rekayasa Pemindahan Tanah Mekanis

1.6 SIFAT FISIK DAN ANALISIS VOLUMETRIK TANAH

Engineer PTM harus memahami bahwa volume tanah akan mengalami perubahan drastis akibat gangguan mekanis. Terdapat tiga kondisi volume yang diakui secara teknis:

1. *Bank Condition (BCM - Bank Cubic Meter):* Kondisi tanah asli di alam sebelum diganggu. Digunakan sebagai dasar perhitungan volume rencana dan pembayaran kontrak.

2. *Loose Condition (LCM - Loose Cubic Meter):* Kondisi tanah setelah digali. Material akan mengembang (Swell) karena adanya penambahan rongga udara di antara butiran tanah.
3. *Compacted Condition (CCM - Compacted Cubic Meter):* Kondisi tanah setelah dipadatkan. Volumenya menyusut (Shrinkage) menjadi lebih kecil dari kondisi aslinya karena udara dipaksa keluar.

Tabel 1.1 Koefisien Konversi Volume Tanah (Standard Referensi)

Jenis Material	Faktor Kembang (*Swell*)	Faktor Susut (*Shrinkage*)
Pasir	1.05 - 1.10	0.85 - 0.95
Tanah Biasa	1.20 - 1.25	0.80 - 0.90
Lempung (*Clay*)	1.30 - 1.45	0.65 - 0.80
Batuan Hasil Ledakan	1.50 - 1.75	1.00 - 1.10

1.7. CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Berikut adalah 5 contoh soal hitungan yang mengintegrasikan formulasi kembang-susut tanah:

Contoh Soal 1: Perhitungan Persentase Swell

Diketahui sebuah proyek penggalian tanah lempung memiliki berat isi asli (*density bank*) sebesar 1.600 kg/BCM. Setelah digali, berat isinya menjadi 1.150 kg/LCM. Hitunglah persentase pengembangan tanahnya (% Swell).

Jawaban:

$$\text{Formula: } \% \text{ Swell} = \left(\frac{\text{Density Bank}}{\text{Density Loose}} - 1\right) \times 100\%$$

$$\% \text{ Swell} = \left(\frac{1.600}{1.150} - 1\right) \times 100\% = (1.391 - 1) \times 100\% = \mathbf{39.1}\%$$

Contoh Soal 2: Konversi Volume BCM ke LCM

Seorang Engineer merencanakan galian tanah biasa sebesar 5.000 BCM. Jika diketahui faktor kembang (*Swell Factor*) material tersebut adalah 1,20, hitunglah kapasitas angkut total dalam satuan LCM yang harus disediakan armada *dump truck*.

Jawaban:

$$\text{Formula: } V_{loose} = V_{Bank} \times \text{Swell Factor}$$

$$V_{loose} = 5.000 \times 1.20 = \mathbf{6.000\ LCM}$$

Contoh Soal 3: Menentukan Load Factor (LF)

Berdasarkan data soal nomor 2, berapakah nilai *Load Factor* (LF) tanah tersebut?

Jawaban:

$$\text{Formula: } LF = \frac{V_{bank}}{V_{loose}} \text{ atau } LF = \frac{1}{1 + \text{Swell (Decimal)}}$$

$$V_{bank} = \frac{15.000}{0{,}85} = \mathbf{17.647{,}06\ BCM}$$

Contoh Soal 4: Perhitungan Kebutuhan Material Timbunan (CCM ke BCM)
Volume timbunan badan jalan yang harus diselesaikan adalah 15.000 CCM (padat). Jika diketahui *Shrinkage Factor* tanah tersebut adalah 0,85, berapakah volume tanah asli *(BCM)* yang harus digali dari area *borrow pit*?
Jawaban:

Formula: $V_{bank} = \frac{V_{compacted}}{\text{Shrinkage Factor}}$

$$V_{bank} = \frac{15.000}{0{,}85} = \mathbf{17.647{,}06\ BCM}$$

Contoh Soal 5: Estimasi Siklus Pengangkutan Terintegrasi
Hitunglah berapa ritase (*trip*) yang dibutuhkan jika material 15.000 BCM pada soal nomor 4 akan diangkut menggunakan *dump truck* berkapasitas 10 m³ (kapasitas bak dalam kondisi lepas/LCM). Gunakan data Swell Factor 1,20.
Jawaban:

1. Ubah Volume galian ke LCM: $V_{loose} = 17.647{,}06 \times 1.20 = 21.176{,}47$ LCM
2. Hitung Ritase: Trip: $\frac{V_{Loose}}{Kapasitas\ Truk}$

$$\text{Trip} = \frac{15.000}{0.85} = \mathbf{17.647.06\ BCM}$$

1.8 KESIMPULAN BAB 1

Pemindahan Tanah Mekanis merupakan fondasi utama dari setiap proyek infrastruktur modern. Keberhasilannya sangat ditentukan oleh kemampuan seorang Engineer dalam merencanakan pemilihan alat berat yang tepat dan menganalisis transformasi volumetrik tanah secara presisi. Digitalisasi di masa depan akan semakin memperkuat akurasi operasional PTM, namun pemahaman terhadap sifat fisik tanah tetap menjadi kompetensi inti yang tak tergantikan.

BAB 2
SIFAT FISIK DAN MEKANIKA TANAH

2.1 PENDAHULUAN

Dalam pekerjaan pemindahan tanah mekanis, tanah bukan sekadar material pasif yang dipindahkan dari satu koordinat ke koordinat lain. Tanah merupakan material teknik yang memiliki sifat fisik dan mekanika heterogen yang sangat memengaruhi pemilihan jenis alat berat, metode kerja, produktivitas, hingga stabilitas hasil konstruksi akhir. Kesalahan dalam mengidentifikasi karakteristik tanah dapat berakibat pada kerusakan alat, pembengkakan biaya operasional, dan kegagalan struktur seperti penurunan (*settlement*) yang tidak seragam.

2.2 KLASIFIKASI TANAH DALAM PERSPEKTIF ALAT BERAT

Klasifikasi tanah bertujuan untuk memetakan perilaku material saat berinteraksi dengan komponen kerja alat berat (*attachment*). Secara umum, material dikelompokkan menjadi:

2.2.1. Tanah Berbutir Kasar (Coarse Grained Soil)

Terdiri dari kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*).

- Karakteristik: Memiliki drainase yang baik, mudah dipadatkan, dan tidak plastis.
- Aplikasi PTM: Umumnya mudah dikerjakan oleh alat berat karena tidak lengket pada *bucket* atau *blade*.

2.2.2. Tanah Berbutir Halus (Fine Grained Soil)

Terdiri dari lanau (*silt*) dan lempung (*clay*).

- Karakteristik: Bersifat kohesif, plastis, dan sangat sensitif terhadap perubahan kadar air.
- Aplikasi PTM: Tanah lempung basah sering menyebabkan masalah operasional seperti ban alat selip, material lengket di *bucket* (menurunkan *fill factor*), dan siklus waktu (*cycle time*) yang lebih lama.

2.2.3 Tanah Organik dan Batuan

- Tanah Organik: Memiliki daya dukung sangat rendah dan sangat kompresibel, sehingga biasanya dikupas (*stripping*) dan dibuang.
- Batuan: Memerlukan metode pemberaian khusus seperti peledakan (*blasting*) atau penggunaan *ripper* sebelum dapat dimuat oleh alat gali.



Gambar 2.1 Pengaruh Jenis Tanah Terhadap Kemudahan Penggalian

2.3 SIFAT FISIK UTAMA MATERIAL

2.3.1. Berat Isi Tanah (Density)

Berat isi adalah rasio antara berat tanah terhadap volumenya (*gamma = W/V*). Parameter ini sangat krusial dalam menentukan kapasitas angkut maksimal *dump truck* dan tenaga tarik (*tractive effort*) yang dibutuhkan alat. Tanah yang lebih berat membutuhkan energi mesin yang lebih besar untuk digali dan diangkut.

2.3.2. Kadar Air (Moisture Content)

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat butiran kering dalam tanah. Kadar air memengaruhi:

- Kemudahan Penggalian: Tanah terlalu kering menjadi sangat keras, sedangkan terlalu basah menjadi lembek dan lengket.
- Pemadatan: Terdapat nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*) di mana tanah dapat mencapai kepadatan maksimal dengan energi pemadatan tertentu.

2.3.3. Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Kohesi adalah gaya tarik-menarik antar partikel tanah, sedangkan sudut geser menunjukkan hambatan gesekannya. Keduanya menentukan kekuatan geser (*shear strength*) tanah yang berdampak pada stabilitas lereng galian dan kemampuan alat untuk beroperasi di medan miring tanpa tergelincir.

2.4 KARAKTERISTIK MEKANIK DAN DAYA DUKUNG

Daya dukung tanah menunjukkan kemampuan permukaan tanah dalam menahan beban berat kendaraan di atasnya.

- *Ground Pressure* vs. Daya Dukung: Jika *ground pressure* (tekanan jejak) alat berat lebih besar dari daya dukung tanah, alat akan amblas (*mired*).
- Solusi: Pada tanah lunak dengan daya dukung rendah (seperti rawa), digunakan alat bertipe *crawler* (roda rantai) atau *swamp dozer* untuk memperkecil tekanan jejak.

Tabel 2.1 Hubungan Cone Index dengan Pemilihan Alat Berat

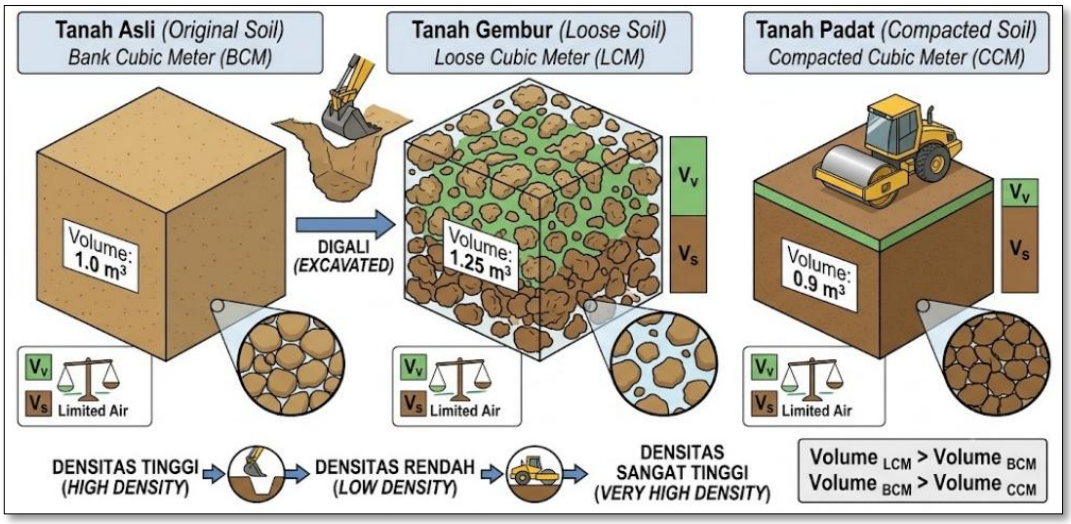
Cone Index	Jenis Alat yang Sesuai	Tekanan Jejak Alat (kg/cm^2)
2	Extra Swamp Dozer	0.15 - 0.30
2 - 4	Swamp Dozer	0.20 - 0.30
5 - 7	Medium Bulldozer	0.60 - 0.80
15	Dump Truck	3.20

(Sumber: Diolah dari Tabel Daya Dukung Tanah Komatsu)

2.5 TRANSFORMASI VOLUMETRIK TANAH

Konsep paling fundamental dalam PTM adalah pemahaman bahwa volume tanah berubah secara drastis saat diproses secara mekanis. Terdapat tiga kondisi volume yang harus dikuasai oleh seorang *engineer*:

1. *Bank Condition (Tanah Asli - BCM):* Kondisi material alami sebelum diganggu. Digunakan sebagai dasar perhitungan volume rencana dan pembayaran volume galian.
2. *Loose Condition (Tanah Lepas - LCM):* Kondisi setelah digali atau dibongkar. Volume bertambah (mengembang) karena masuknya udara ke dalam struktur butiran yang terurai. Digunakan untuk menghitung kapasitas muat truk dan unit pengangkut lainnya.
3. *Compacted Condition (Tanah Padat - CCM):* Kondisi setelah dipadatkan oleh alat pemadat (*compactor*). Volume menyusut lebih kecil dari kondisi asli karena udara dipaksa keluar dari pori-pori tanah. Digunakan untuk menghitung kebutuhan material timbunan struktur.



Gambar 2.2 Ilustrasi Perubahan Fasa Volume Tanah

2.6 RUMUS DASAR SWELL, SHRINKAGE, DAN LOAD FACTOR

2.6.1. Swell (Pengembangan)

Dihitung berdasarkan perbandingan volume lepas terhadap volume asli atau densitas asli terhadap densitas lepas:

$$\%Swell = \left(\frac{V_L - V_B}{V_B}\right) \times 100\% = \left(\frac{W_B}{W_L} - 1\right) \times 100\%$$

2.6.2. Shrinkage (Penyusutan)

Persentase pengurangan volume dari kondisi asli ke kondisi padat:

$$\%Shringkage = \left(1 - \frac{V_C}{V_B}\right) \times 100\%$$

2.6.3. Load Factor (LF)

Digunakan untuk mengubah volume lepas menjadi volume asli (konversi LCM ke BCM):

$$Load\ Factor\ (LF) = \frac{V_B}{V_L} = \frac{W_L}{W_B}$$

2.7 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Perhitungan Persentase Swell dari Densitas

Hasil pengujian laboratorium menunjukkan berat isi tanah lempung asli adalah 1.700 kg/BCM dan berat isi setelah digali adalah 1.250 kg/LCM. Hitunglah persentase pengembangan material tersebut (% Swell).

Jawaban:

$$\%Swell = \left(\frac{W_B}{W_L} - 1\right) \times 100\%$$

$$\%Swell = \left(\frac{1.700}{1.250} - 1\right) \times 100\% = (1{,}36 - 1) \times 100\% = \mathbf{36}\%$$

Contoh Soal 2: Konversi Kebutuhan Timbunan ke Volume Galian (CCM ke BCM)

Sebuah proyek jalan memerlukan tanah timbunan padat sebesar 10.000 CCM. Jika diketahui tanah tersebut memiliki *Shrinkage Factor* sebesar 0,85, berapakah volume tanah asli (**BCM**) yang harus digali dari *borrow pit*?

Jawaban:

$$V_B = \frac{V_C}{Shrinkage\ Factor}$$

$$V_B = \frac{10.000}{0{,}85} = \mathbf{11.764{,}7\ BCM}$$

Contoh Soal 3: Penentuan Kapasitas Angkut Riil (LCM ke BCM)

Sebuah *dump truck* memiliki kapasitas bak munjung sebesar 15 m^3 (LCM). Jika tanah yang diangkut adalah tanah biasa dengan *Load Factor* 0,80, berapakah volume tanah asli (BCM) yang dipindahkan truk tersebut dalam satu kali ritase?

Jawaban:

$V_B = V_L \times \text{Load Factor}$

$V_B = 15 \times 0{,}80 = 12$ **BCM/trip**

Contoh Soal 4: Analisis Kebutuhan Ritase Scraper

Dibutuhkan tanah berkerikil sebanyak 8.000 cu-yd dalam kondisi padat (CCM). Diketahui *Shrinkage Factor* = 0,80 dan *Load Factor* = 0,73. Scraper yang digunakan memiliki kapasitas 18 cu-yd (LCM). Hitung berapa kali pengangkutan yang diperlukan?

Jawaban:

1. Hitung kebutuhan BCM: $8.000 \,/\, 0{,}80 \;=\; \mathbf{10.000\ BCM}$
2. Kapasitas scraper dalam BCM: $18 \times 0{,}73 \;=\; \mathbf{13{,}14\ BCM}$
3. Jumlah trip: $10.000 \,/\, 13{,}14 \;=\; 761{,}03\ ritase \approx \mathbf{762\ Ritase}$

Contoh Soal 5: Perhitungan Produktivitas Dump Truck dengan Koreksi Swell

Diketahui produktivitas standar truk adalah 32 m^3/jam (dalam kondisi lepas/LCM). Jika truk tersebut mengangkut tanah dengan *swell factor* 1,25, berapakah produktivitas truk tersebut dalam satuan m^3/jam (BCM)?

Jawaban:

$$Q_{BCM} = Q_{LCM} \times \frac{1}{1 + S_w}\ atau\ Q_{LCM} \times LF\ LF = \frac{1}{1{,}25}$$

$Q_{BCM} = 32 \times 0{,}80 = \mathbf{25{,}6\ BCM/Jam}$

2.8 KESIMPULAN

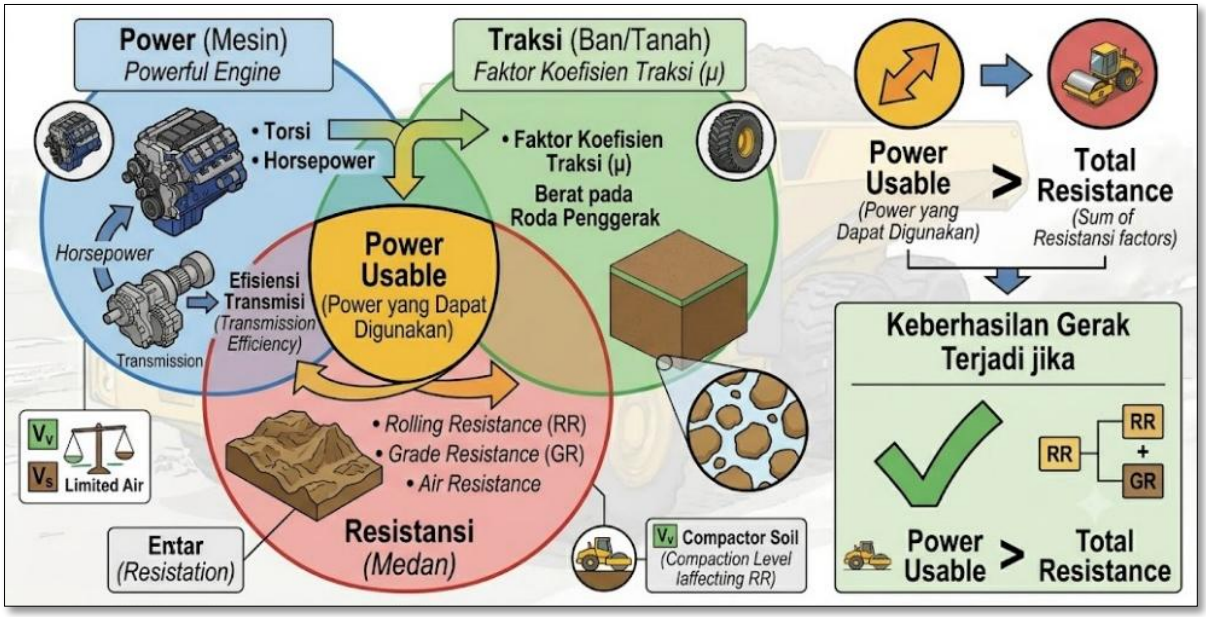
Pemahaman terhadap sifat fisik dan mekanika tanah merupakan prasyarat mutlak dalam manajemen alat berat. Perubahan volume (swell/shrinkage) menentukan akurasi perhitungan biaya dan durasi proyek, sementara sifat mekanik (kohesi/daya dukung) menentukan keselamatan operasional alat di lapangan. Digitalisasi melalui penggunaan sensor kepadatan dan GPS saat ini sangat membantu *engineer* dalam memantau sifat-sifat tanah ini secara *real-time*.

BAB 3
MEKANIKA GERAK ALAT BERAT

3.1 PENDAHULUAN

Keberhasilan operasi pemindahan tanah mekanis sangat bergantung pada pemahaman engineer mengenai mekanika gerak alat. Alat berat bukan sekadar mesin statis, melainkan sistem dinamis yang harus melawan berbagai gaya hambat di lapangan. Secara garis besar, terdapat tiga faktor penentu dalam penggunaan alat berat:

1. *Power Required* (Tenaga yang Dibutuhkan): Tenaga yang harus disediakan mesin untuk mengatasi hambatan medan (resistansi).
2. *Power Available* (Tenaga yang Tersedia): Tenaga maksimal yang dapat dihasilkan oleh mesin pada kondisi tertentu.
3. *Power Usable* (Tenaga yang Dapat Dimanfaatkan)**:** Tenaga riil yang dapat disalurkan ke permukaan tanah tanpa menyebabkan selip, yang dibatasi oleh berat alat dan koefisien traksi.



Gambar 3.1 Interaksi Power, Traksi dan Resistensi

3.2 JENIS TENAGA PADA ALAT BERAT

Dalam terminologi mekanika alat berat, tenaga didefinisikan berdasarkan lokasi penyalurannya:

3.2.1. Engine Power (Daya Mesin)

Tenaga kotor yang dihasilkan oleh pembakaran internal mesin, biasanya dinyatakan dalam *Horse Power* (HP) atau *Kilowatt* (kW). Perlu dicatat bahwa tidak

semua daya mesin dapat digunakan untuk kerja karena adanya kerugian daya (*losses*) akibat panas, gesekan internal transmisi, dan sistem pendingin.

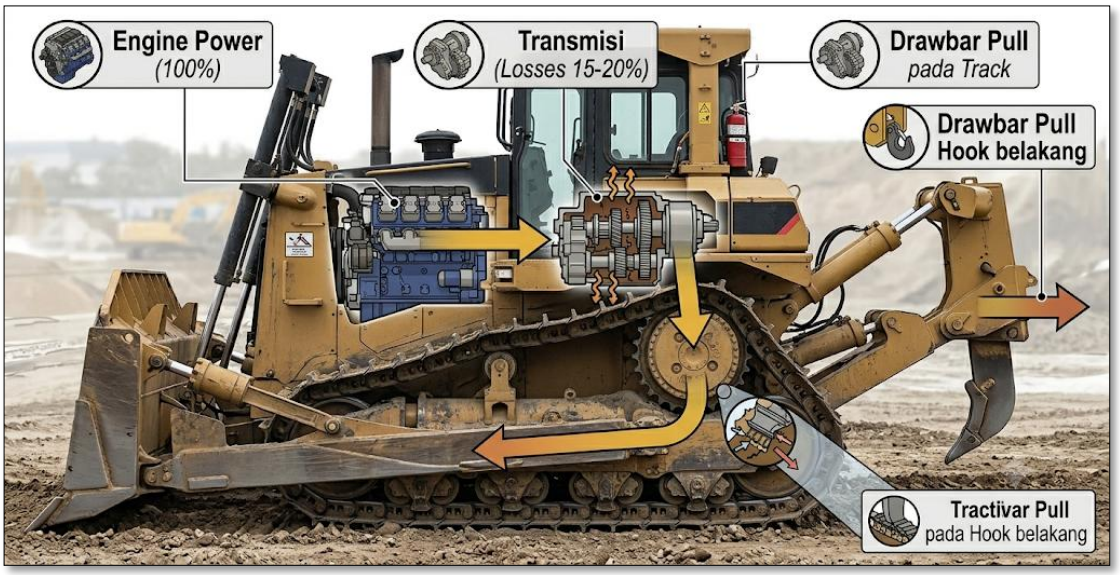
3.2.2. *Tractive Effort dan Rimpull*

Tractive Effort (TE) adalah gaya dorong atau tarik yang dihasilkan oleh persinggungan antara roda/rantai penggerak dengan permukaan tanah. Untuk alat berat beroda ban karet (*wheel equipment*), tenaga ini disebut sebagai *Rimpull.* Rumus praktis menghitung Rimpull (jika tidak disediakan spesifikasi pabrik):

$$Rimpull = \frac{375 \times 200 \times 0{,}80}{4} = \frac{60.000}{4} = \mathbf{15.000\ lbs}$$

3.2.3. *Drawbar Pull (DBP)*

Drawbar Pull adalah tenaga tarik bersih yang tersedia pada kaitan belakang (*drawbar*) traktor roda kelabang (*crawler*) untuk menarik muatan. DBP dihitung setelah tenaga mesin dikurangi untuk menggerakkan berat unit traktor itu sendiri. Nilai DBP sangat dipengaruhi oleh pemilihan gigi transmisi; kecepatan rendah akan menghasilkan DBP yang sangat besar.



Gambar 3.2 Skema Penyaluran Tenaga pada Bulldozer

3.3. TAHANAN GELINDING (*ROLLING RESISTANCE* - RR)

Rolling Resistance adalah gaya hambat yang melawan gerak kendaraan akibat adanya gesekan antara roda dengan permukaan jalan serta deformasi jalan/ban.

3.3.1. *Faktor Penyebab RR*

- Kondisi Permukaan Jalan: Jalan yang lunak atau berlumpur memberikan hambatan jauh lebih besar daripada jalan beton keras.
- Penetrasi Roda: Pada ban karet, jika roda terbenam ke dalam tanah sedalam d cm, akan timbul hambatan tambahan.

- *Internal Friction*: Gesekan pada as roda dan bantalan kendaraan.

3.3.2 Perhitungan RR

Secara praktis, RR dihitung dengan rumus:

$$RR = Berat\ Kendaraan\ (ton) \times Koefisien\ RR\ (Kg/Ton)$$

Jika menggunakan pendekatan penetrasi roda ban karet:

$$RR = Berat\ Kendaraan\ \times \left(2\% + (0.6\% \times d\ cm)\right)$$

Artinya, setiap 1 cm roda terbenam, hambatan meningkat sebesar 0,6% dari berat total kendaraan.

Table 3.1 Estimasi Nilai Tahanan Gelinding (RR)

Kondisi Jalan	*Koefisien RR (kg/ton)*
Jalan Beton/Aspal Halus	20
Jalan Tanah Keras, Terpelihara	35
Jalan Tanah Lembek, Penetrasi 1-2 cm	50
Jalan Berlumpur, Penetrasi >10 cm	150 - 200

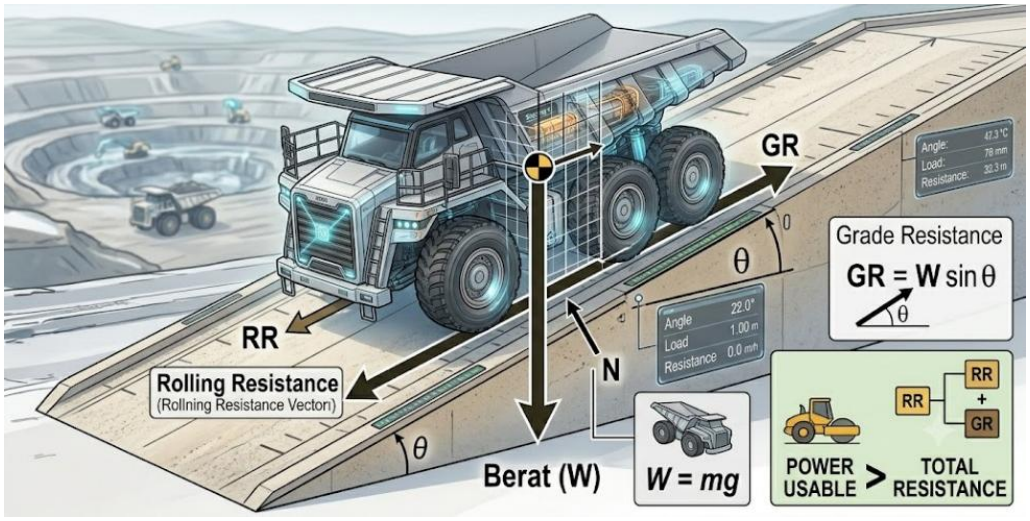
(Sumber: Diolah dari Referensi PTM & Alat Berat)

3.4 TAHANAN KELANDAIAN (GRADE RESISTANCE - GR)

Grade Resistance adalah gaya hambat yang timbul akibat komponen berat kendaraan saat melintasi tanjakan. Sebaliknya, jika kendaraan menuruni bukit, gaya gravitasi membantu gerak kendaraan, yang disebut *Grade Assistance (GA).*

Hukum dasar GR menyatakan bahwa untuk setiap 1% kenaikan tanjakan, timbul hambatan tambahan sebesar 10 kg per ton berat kendaraan (atau 20 lbs per ton).

$$GR = Berat\ Kendaraan\ (ton) \times 10\ kg/ton\ \times \%Grade$$



Gambar 3.3 Analisis Vektor Gaya pada Tanjakan

3.5 TAHANAN TOTAL (TOTAL RESISTANCE - TR)

Tahanan Total adalah penjumlahan seluruh hambatan eksternal yang harus dilawan oleh unit alat berat untuk dapat bergerak maju.

$$TR = RR + GR\ (Untuk\ tanjakan)$$
$$TR = RR - GA(Untuk\ turunan)$$

3.6 KOEFISIEN TRAKSI DAN TRAKSI KRITIS

Daya mesin yang besar tidak akan berguna jika roda alat berat mengalami selip. Kemampuan alat untuk menyalurkan tenaga ke tanah tanpa selip disebut Traksi. Koefisien Traksi (*Ct*) adalah faktor perbandingan antara tenaga tarik maksimal sebelum selip dengan berat kendaraan pada roda penggerak.

$$Transaksi\ Maksimum\ (Kg) = C_t \times Berat\ pada\ Roda\ Penggerak\ (Kg)$$

- Untuk *Crawler Tractor*, seluruh berat alat (100%) menjadi tumpuan traksi.
- Untuk *Wheel Loader/Truck*, hanya berat yang terdistribusi pada roda penggerak yang dihitung (misal: 60% dari total berat).

3.7 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Perhitungan Rimpull Maksimal

Sebuah *Wheel Tractor* memiliki tenaga mesin 200 HP bekerja pada gigi 1 dengan kecepatan 4 mph. Jika efisiensi mekanis alat tersebut adalah 80%, berapakah Rimpull tersedia?

Jawaban:

$$Rimpull = \frac{375 \times 200 \times 0{,}80}{4} = \frac{60.000}{4} = \mathbf{15.000\ lbs}$$

Contoh Soal 2: Hambatan Akibat Penetrasi Roda

Sebuah *Dump Truck* dengan berat kotor 40 Ton melintasi jalan tanah gembur sehingga ban terbenam sedalam 5 cm. Hitunglah Tahanan Gelinding (RR) truk tersebut.

Jawaban:

Menggunakan rumus penetrasi

$Factor\ RR = 2\% + (0{,}6\% \times 5\ cm) = 2\% + 3\% = 5\%$

$RR = 5\% \times 40.000\ kg = \mathbf{2.000\ kg}$

Contoh Soal 3: Analisis Tahanan Total (TR)

Unit yang sama pada soal nomor 2 (40 Ton) melintasi tanjakan dengan kemiringan 6%. Hitunglah Tahanan Total (TR) yang dialami truk.

Jawaban:

1. RR (dari soal 2) $= 2.000\ kg$

2. Hitung GR: $GR = 40\ Ton\ x\ 10\ kg/ton \times 6 = 2.400\ kg$
3. $TR = RR + GR = 2.000 + 2.400 = 4.400\ kg$

Contoh Soal 4: Kontrol Traksi (Cek Selip)

Truk pada soal nomor 3 memiliki konfigurasi *4-Wheel Drive* (seluruh berat pada roda penggerak). Jika koefisien traksi jalan tanah tersebut adalah 0,4, mampukah truk tersebut menanjak? (Tahanan Total TR = 4.400 kg).

Jawaban:

1. Hitung Traksi Maksimum:
   $T_{max} = C_t \times Berat = 0{,}4 \times 40.000\ kg = \mathbf{16.000\ kg}$
2. Analisis: Karena
   $T_{mix}(16.000\ kg) > TR\ (4.400\ kg)$

maka ban **TIDAK SELIP** dan truk mampu menanjak asalkan tenaga mesin mencukupi.

Contoh Soal 5: Derating Daya Akibat Ketinggian (Altitude)

Sebuah alat berat dengan mesin diesel 4-langkah memiliki tenaga 300 HP pada permukaan laut. Alat tersebut dioperasikan pada proyek bendungan di ketinggian 1.550 meter dpl. Hitunglah tenaga efektif yang tersedia. (Penurunan daya 1% setiap kenaikan 100 m di atas 750 m dpl).

Jawaban:

1. Ketinggian kritis di atas 750 m: $1.550 - 750 = 800\ m$
2. Persentase kehilangan daya= $\frac{800}{100} \times 1\% = 8\%$
   Kehilangan daya (HP): $8\% \times 300\ HP = 24\ HP$
3. Tenaga efektif: $300 - 24 = 276\ HP$

3.8 KESIMPULAN BAB 3

Mekanika gerak alat berat merupakan dasar dari perencanaan produktivitas. Seorang engineer harus memastikan bahwa:

1. Mesin memiliki tenaga cukup untuk melawan TR *(Power Available > Power Required).*
2. Kondisi traksi cukup untuk menyalurkan tenaga tanpa selip *(Traction Limit > Power/TR).*

Pemahaman terhadap variabel RR, GR, dan Traksi memungkinkan optimasi penggunaan bahan bakar dan pemilihan gigi transmisi yang tepat guna memperpanjang umur pakai komponen alat berat.

Catatan Penting

Pengaruh Koefisien Traksi Terhadap Performa Alat Berat Di Medan Pasir

Koefisien traksi memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap performa alat berat di medan pasir karena menentukan seberapa besar tenaga mesin yang dapat diubah menjadi gaya dorong atau tarik (tenaga traksi) sebelum terjadi selip. Berikut adalah penjelasan mendalam mengenai pengaruh tersebut berdasarkan sumber referensi:

1. Nilai Koefisien Traksi yang Rendah di Medan Pasir.

Medan pasir, terutama dalam kondisi kering, memiliki koefisien traksi yang relatif rendah dibandingkan permukaan lainnya. Hal ini membatasi kemampuan alat untuk menyalurkan tenaga ke permukaan tanah. Berdasarkan data teknis:

- Pasir Kering: Koefisien traksi untuk roda ban karet hanya berkisar antara 0,15 – 0,20, sedangkan untuk roda kelabang (*crawler*) adalah 0,30.
- Pasir Basah: Kondisinya sedikit lebih baik, dengan nilai 0,20 – 0,40 untuk roda ban dan 0,50 untuk roda kelabang.

Sebagai perbandingan, tanah liat kering memiliki koefisien traksi yang jauh lebih tinggi, mencapai $\mathbf{0,50 - 0,90}$. Rendahnya nilai di medan pasir berarti hanya sebagian kecil dari berat alat yang dapat dikonversi menjadi tenaga tarik efektif.

2. Batasan Tenaga yang Dapat Dimanfaatkan (*Power Usable*)
   Meskipun mesin alat berat memiliki tenaga (*horsepower*) yang besar, di medan pasir performanya dibatasi oleh Traksi Kritis.
   - Risiko Selip: Jika tenaga yang disalurkan mesin ke roda (*rimpull*) melebihi traksi maksimum (berat pada roda penggerak dikali koefisien traksi), maka roda atau rantai hanya akan selip di tempat,.
   - Tenaga Efektif: Di medan pasir, sering kali terjadi situasi di mana alat berat yang besar menjadi tidak efektif karena tenaganya tidak bisa tersalurkan ke tanah yang lepas/gembur, sehingga daya guna mesin menurun drastis.
3. Perbandingan Performa: Roda Ban vs. Roda Kelabang
   Jenis alat berat sangat menentukan keberhasilan operasi di medan pasir:
   - Alat Roda Ban (*Wheel Tractor*): Sangat rentan terhadap selip di pasir karena bidang singgung (*ground contact*) yang kecil. Di pasir kering yang sangat gembur, roda ban sering kali terbenam, yang juga meningkatkan Tahanan Gelinding (*Rolling Resistance*).
   - Alat Roda Kelabang (*Crawler Tractor*): Memiliki performa yang jauh lebih baik di medan pasir karena memiliki bidang singgung yang luas dan koefisien traksi yang lebih tinggi (0,30 – 0,50),. Luasnya rantai baja memberikan "daya apung" yang lebih besar, mencegah alat amblas ke dalam pasir.
4. Implikasi Operasional
   Dalam perencanaan teknik sipil, seorang *engineer* harus mempertimbangkan hal berikut jika bekerja di medan pasir:
   - Kapasitas Muat: Kapasitas angkut unit seperti *dump truck* harus dikurangi atau jalan angkut harus diperkeras, karena traksi yang rendah akan menyulitkan truk untuk mendaki atau berakselerasi,.
   - Pemilihan Gigi Transmisi: Operator harus menggunakan gigi rendah untuk mendapatkan torsi yang stabil tanpa memicu putaran roda yang berlebihan yang dapat menyebabkan alat "tertanam" di pasir,.
   - Faktor Pengisian (*Fill Factor*): Di medan pasir, faktor pengisian *bucket* alat gali biasanya berkisar antara 0,80 – 1,0 (sedang/mudah) karena sifat pasir yang lepas, namun pergerakan alat pemuatnya sendiri tetap dibatasi oleh traksi pada landasan

Perbedaan Rimpull dan Drawbar Pull

Perbedaan antara *Rimpull* dan *Drawbar Pull (DBP)* terletak pada jenis alat berat yang digunakan dan titik di mana tenaga tarik tersebut diukur. Keduanya merupakan representasi dari tenaga yang disediakan mesin untuk mengatasi hambatan medan agar alat dapat bergerak dan menarik beban.

Berikut adalah penjelasan mendalam mengenai perbedaan keduanya berdasarkan sumber referensi teknis:

1. *Rimpull* (Tenaga Roda)

   Rimpull adalah gaya tarik maksimum yang dihantarkan oleh mesin langsung ke titik kontak antara ban luar roda penggerak dengan permukaan jalan.

   - Penggunaan: Istilah ini secara spesifik digunakan untuk alat berat yang menggunakan roda ban karet (*wheel equipment*) seperti *wheel loader* atau *dump truck*.
   - Satuan: Dinyatakan dalam kilogram (kg) atau *pounds* (lbs).
   - Rumus Perhitungan: Jika tidak disediakan oleh spesifikasi pabrik, Rimpull dapat dihitung dengan rumus: *Catatan: Nilai efisiensi mekanis biasanya berkisar antara 80% – 85%*.
   - Batasan: Tenaga ini hanya dapat dimanfaatkan sepenuhnya jika terdapat gesekan yang cukup antara ban dan tanah. Jika Rimpull melebihi traksi kritis (berat pada roda penggerak dikali koefisien traksi), maka ban akan mengalami selip.

2. *Drawbar Pull* (DBP) (Tenaga Tarik)

   Drawbar Pull adalah tenaga tarik bersih yang tersedia pada kaitan atau gantol (*hook*) yang terletak di bagian belakang traktor untuk menarik beban eksternal.

   - Penggunaan: Istilah ini secara spesifik digunakan untuk alat berat yang menggunakan roda kelabang/rantai (*crawler tractor*).
   - Karakteristik Tenaga: DBP merupakan sisa tenaga mesin setelah dikurangi untuk mengatasi gesekan mekanisme internal alat dan tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan berat unit traktor itu sendiri.
   - Pengaruh Gigi Transmisi: Nilai DBP sangat tergantung pada pemilihan gigi (*gear selection*). Hubungannya bersifat terbalik; kecepatan yang rendah (gigi rendah) akan menghasilkan DBP yang sangat besar.
   - Standar Pabrik: Dalam daftar spesifikasi pabrik, nilai DBP biasanya sudah memperhitungkan hambatan gulir (*Rolling Resistance*) standar sebesar 110 lbs/ton atau 50 kg/ton dari berat traktor itu sendiri. Jika kondisi lapangan memiliki hambatan lebih besar, maka nilai DBP efektif harus dikurangi (disesuaikan).

Tabel 3.2 Perbandingan Rimpull dan DBP

Karakteristik	***Rimpull***	***Drawbar Pull (DBP)***
Jenis Alat	Alat beroda ban karet (*Wheel*)	Alat beroda rantai (*Crawler*)
Titik Ukur	Titik singgung ban dengan tanah	Gantol (*hook*) di belakang alat

Sifat Tenaga	Tenaga kotor yang sampai ke roda	Tenaga bersih untuk menarik beban luar
Faktor Pembatas	Koefisien traksi ban karet	Berat alat dan hambatan mekanis rantai

Secara prinsip engineering, baik Rimpull maupun DBP harus selalu lebih besar daripada *Total Resistance (TR)*—yakni gabungan hambatan gulir dan hambatan kelandaian—agar alat berat dapat bergerak dan melaksanakan fungsinya di lapangan

Faktor Rimpull Hubungannya Dengan Traksi

Rimpull (atau tenaga roda) adalah gaya tarik maksimum yang dihantarkan oleh mesin langsung ke titik kontak antara ban luar roda penggerak dengan permukaan jalan, dinyatakan dalam satuan kilogram (kg) atau *pounds* (lbs). Berikut adalah penjelasan mendalam mengenai faktor rimpull dan hubungannya dengan traksi berdasarkan sumber referensi:

1. Memahami Faktor Rimpull

   Rimpull merupakan representasi dari tenaga gerak yang disediakan mesin untuk mengatasi hambatan medan agar alat dapat bergerak dan menarik beban.

   - Karakteristik Alat: Istilah rimpull secara spesifik digunakan untuk alat berat yang menggunakan roda ban karet (*wheel equipment*).
   - Rumus Perhitungan: Jika spesifikasi pabrik tidak tersedia, rimpull dapat dihitung dengan rumus:

     $$Rimpull = \frac{375 \times \text{HP} \times \text{Efisiensi}}{\text{Kecepatan (mph)}}$$

   Catatan: Nilai efisiensi mekanis biasanya berkisar antara 80% – 85%.

- Hubungan dengan Kecepatan: Besarnya rimpull sangat tergantung pada pemilihan gigi transmisi (*gear selection*). Hubungannya bersifat terbalik; pada kecepatan rendah (gigi rendah), rimpull yang dihasilkan sangat besar, namun pada kecepatan tinggi, rimpull menjadi kecil.

2. Hubungan Rimpull dengan Traksi

   Hubungan antara rimpull dan traksi menentukan apakah alat berat dapat bergerak maju atau justru mengalami selip di lapangan.

   - Batasan Tenaga yang Dapat Dimanfaatkan (*Power Usable*): Meskipun mesin memiliki tenaga (HP) yang besar untuk menghasilkan rimpull tinggi, tenaga tersebut hanya dapat dimanfaatkan sepenuhnya apabila terdapat gesekan (traksi) yang cukup antara permukaan ban dengan tanah.
   - Traksi Kritis sebagai Ambang Batas: Kemampuan maksimal tanah menerima rimpull sebelum ban selip disebut Traksi Kritis. Rumusnya adalah:

     $$Traksi\ Kritis = Koefisiensi\ Traksi \times Berat\ pada\ Roda\ Penggerak$$

   - Kondisi Selip: Jika rimpull yang diberikan mesin melebihi nilai traksi kritis, maka tenaga berlebih tersebut tidak akan menjadi gaya dorong, melainkan hanya akan menyebabkan roda selip di tempat.

- Contoh Kasus: Sebuah traktor roda karet bekerja di pasir basah dengan koefisien traksi 0,30. Meskipun mesinnya mampu menghasilkan rimpull besar, tenaga tarik efektif yang bisa digunakan hanya sebesar 30% dari berat yang menumpu pada roda penggeraknya.

Ringkasan Interaksi

Dalam analisis rekayasa pemindahan tanah, seorang *engineer* harus memastikan dua hal agar alat bekerja optimal:

1. Rimpull yang tersedia harus lebih besar dari Total $Resistance$ $(hambatan\ gulir + hambatan\ kelandaian)$ agar alat mampu bergerak.
2. Rimpull yang digunakan tidak boleh melampaui Traksi Kritis agar ban tidak selip dan merusak lintasan atau memboroskan bahan bakar

Bagian II
Klasifikasi dan Fungsi Alat Berat

BAB 4
ALAT PENGOLAH LAHAN (BULLDOZER DAN RIPPER)

4.1 PENDAHULUAN DAN FILOSOFI KERJA

Dalam hirarki pekerjaan pemindahan tanah mekanis (PTM), Bulldozer dikategorikan sebagai *pioneer equipment* atau alat berat pionir. Peran utamanya adalah sebagai pembuka jalan bagi alat berat lainnya. Bulldozer merupakan traktor yang dilengkapi dengan *attachment* berupa sudu baja (*blade*) di bagian depan, yang berfungsi untuk mendorong (*pushing*), menggali (*digging*), meratakan (*spreading*), dan menyebarkan material.

Kemampuan utama bulldozer terletak pada tractive effort (tenaga tarik/dorong) yang sangat besar, memungkinkannya bekerja di medan yang tidak bisa dilalui alat roda ban biasa. Selain pengolahan lahan, bulldozer sering dikombinasikan dengan *Ripper* (bajak) di bagian belakang untuk memberai formasi batuan atau tanah keras (*ripping*) sebelum dilakukan penggalian.

4.2 TRAKTOR SEBAGAI PRIME MOVER (PENGGERAK UTAMA)

Bulldozer pada dasarnya adalah traktor yang dimodifikasi. Berdasarkan sistem penggeraknya (*undercarriage*), alat pendorong ini dibagi menjadi dua tipe utama:

4.2.1. Traktor Roda Kelabang (Crawler Tractor Dozer)

Alat ini menggunakan roda rantai baja. Karakteristik utamanya meliputi:

- Tenaga Tarik Besar: Memiliki traksi maksimal karena seluruh berat alat tertumpu pada bidang kontak yang luas (*ground contact*).
- Daya Apung Tinggi (*High Flotation*): Mampu bekerja di tanah lunak, lumpur, atau medan berbatu tajam tanpa risiko pecah ban.
- Stabilitas: Sangat stabil di medan miring atau perbukitan.
- Keterbatasan: Kecepatan rendah (rata-rata 10-12 km/jam) dan harus diangkut menggunakan *lowbed trailer* jika berpindah lokasi melalui jalan aspal agar tidak merusak jalan.

4.2.2. Traktor Roda Ban (Wheel Tractor Dozer)

Menggunakan roda ban karet (*pneumatic tires*). Karakteristik utamanya meliputi:

- Kecepatan Tinggi: Mampu bergerak hingga kecepatan 45 km/jam, memberikan mobilitas tinggi antar *jobsite*.
- Kelelahan Operator Rendah: Lebih nyaman dikendarai dibandingkan tipe crawler.
- Keterbatasan: Daya dorong lebih kecil dibandingkan tipe crawler pada ukuran yang sama. Sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah; mudah selip di tanah lunak atau berlumpur.

Tabel 4.1 Perbandingan Crawler Dozer vs. Wheel Dozer

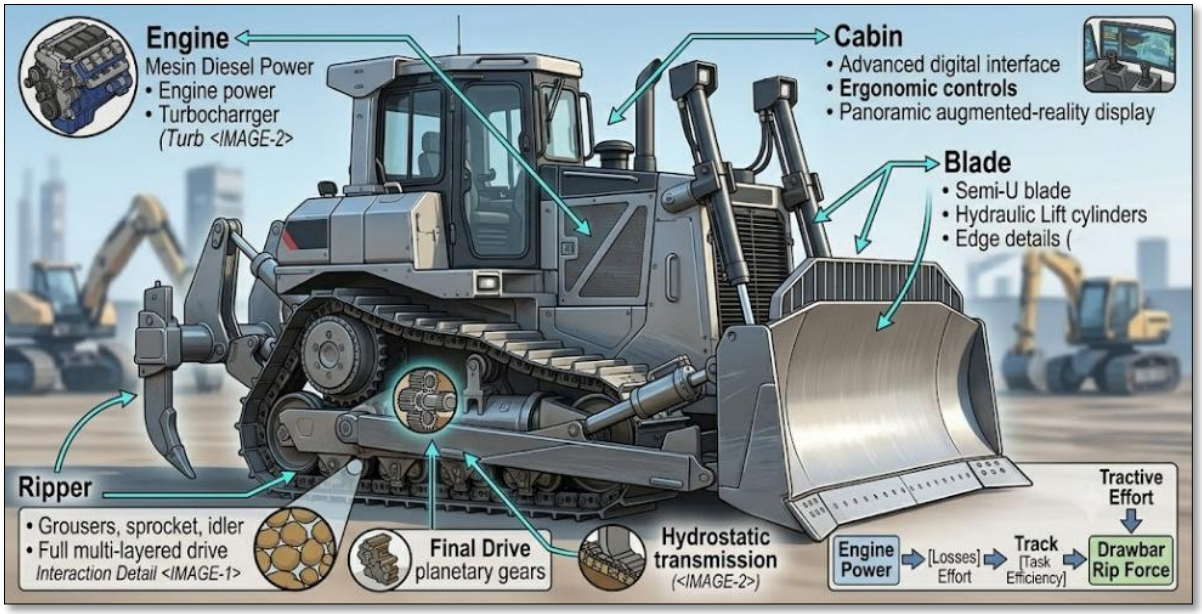
Parameter Pembanding	Crawler Tractor Dozer	Wheel Tractor Dozer
Daya Dorong/Traksi	Sangat Besar	Lebih Kecil
Kecepatan Gerak	Rendah	Tinggi
Medan Kerja	Lunak, Berlumpur, Berbatu	Keras, Terpelihara, Padat
Mobilitas	Perlu pengangkut (trailer)	Bisa jalan sendiri
Tekanan Jejak	Kecil (Daya apung besar)	Besar (Mudah amblas)

(Sumber: Diolah dari Wedhanto, 2009 & Indrayani, 2010)

4.3 KOMPONEN UTAMA BULLDOZER

Struktur bulldozer terdiri dari beberapa unit fungsional:

1. *Engine*: Sumber tenaga penggerak utama.
2. *Undercarriage*: Sistem roda rantai atau ban.
3. *Blade*: Sudu pendorong material.
4. *Push Arm & Pitch Arm*: Batang pendorong dan pengatur kemiringan blade.
5. *Ripper*: Attachment belakang untuk membajak.



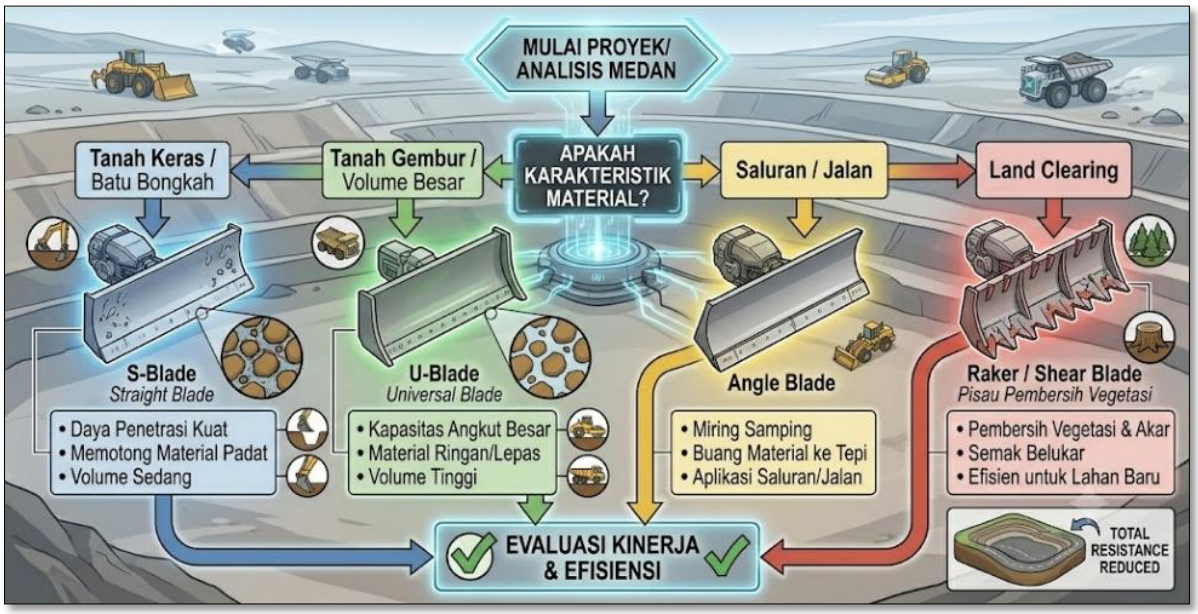
Gambar 4.1 Skema Anatomi Bulldozer Modern

4.4 TIPOLOGI BLADE (PISAU DOZER)

Efisiensi penggusuran sangat ditentukan oleh pemilihan jenis blade yang sesuai dengan material:

1. *Straight Blade (S-Blade):* Berbentuk lurus, cocok untuk pengupasan (*stripping*) tanah keras dan penggusuran lurus dengan daya potong kuat.
2. *Universal Blade (U-Blade):* Memiliki sayap samping yang melengkung ke depan. Mampu membawa muatan lebih banyak, ideal untuk material lepas (tanah gembur, reklamasi).

3. *Angle Blade:* Dapat dimiringkan hingga sudut ±25° terhadap arah gerak. Sangat efektif untuk membuang tanah ke samping pada pekerjaan konstruksi jalan.
4. *Cushion Blade:* Dilengkapi dengan peredam kejut untuk membantu mendorong *scraper* saat sedang melakukan pemuatan.
5. *Raker Dozer (Fork):* Berbentuk garpu untuk membersihkan akar pohon dan bebatuan besar pada tahap *land clearing*.



Gambar 4.2 Pemilihan Blade Berdasarkan Jenis Material

4.5 *RIPPER* (BAJAK MEKANIS)

Ripper digunakan apabila lapisan tanah/batuan terlalu keras untuk didorong langsung oleh bulldozer. Proses penggemburan ini disebut *ripping*.

Jenis-jenis Ripper:

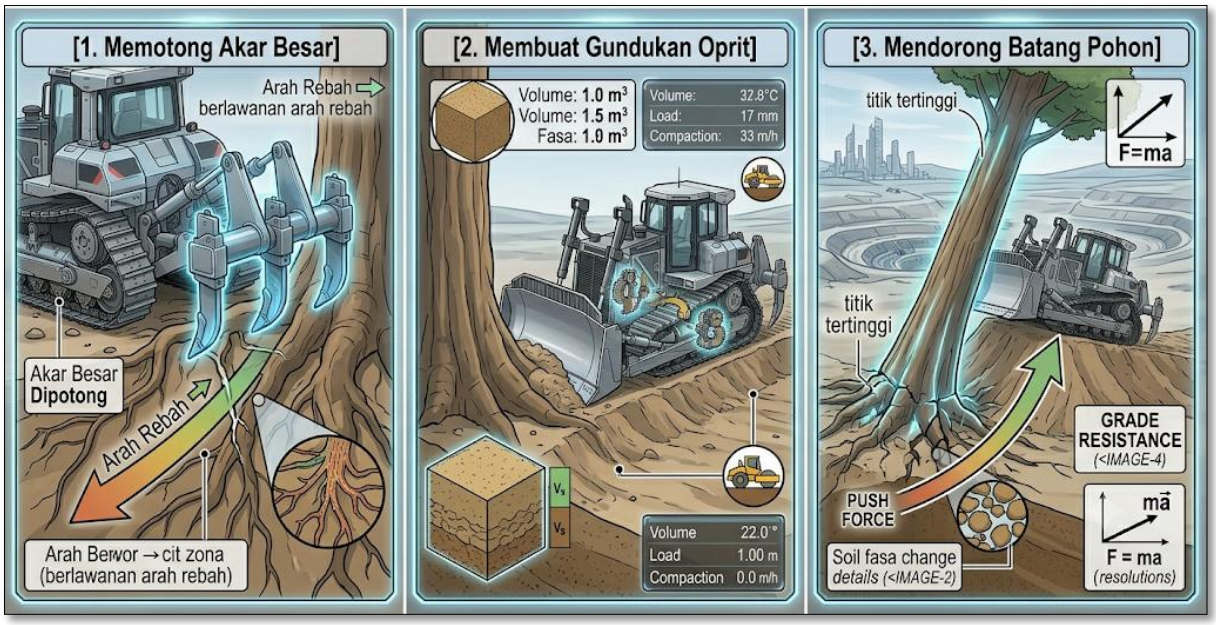
- *Single Shank Ripper*: Memiliki satu kuku bajak. Digunakan untuk penetrasi dalam pada batuan yang sangat keras.
- *Multi Shank Ripper*: Memiliki 2 atau 3 kuku bajak. Digunakan untuk tanah padat dengan area kerja yang lebih luas agar produksi meningkat.

4.6 OPERASI PEMBERSIHAN LAHAN *(LAND CLEARING)*

Sebagai alat pioneer, tugas pertama bulldozer adalah *land clearing*.

Tahapan *Land Clearing*:

1. *Underbrushing:* Memotong semak belukar diameter <30 cm.
2. *Felling/Cutting:* Merobohkan pohon besar. Tekniknya: naikkan blade setinggi mungkin untuk mendapatkan momen besar guna menggulingkan pohon.
3. *Piling* (Penumpukan): Mengumpulkan vegetasi yang sudah roboh untuk dibakar atau dipindahkan.
4. *Harrowing:* Pembajakan akhir untuk membersihkan sisa akar.



Gambar 4. 3 Teknik Merobohkan Pohon dengan Bulldozer

4.7 ANALISIS PRODUKTIVITAS BULLDOZER

Produktivitas bulldozer (m^3/jam) dihitung berdasarkan volume material yang didorong per siklus dan waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus kerja.

4.7.1 Rumus Umum Produktivitas:

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{Cm}$$

Dimana:

Q = Produktivitas (m^3/jam)
q = Kapasitas blade $(L \times H^2 \times Blade\ Factor)$
E = Efisiensi kerja $(0{,}60 - 0{,}85)$
Cm = Waktu siklus $(menit)$

4.7.2. Perhitungan Waktu Siklus (Cm):

$$Cm = \frac{J}{F} + \frac{J}{R} + z$$

Dimana,

J = Jarak dorong (meter)
F = Kecepatan maju (m/menit)
R = Kecepatan mundur (m/menit)
Z = Waktu tetap/pindah persneling (menit)

4.8 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Produktivitas Standar Penggusuran

Sebuah Bulldozer D8S melakukan penggusuran tanah lempung keras dengan jarak dorong 45 meter. Lebar blade 3,5 m dan tinggi blade 0,6 m. Diketahui kecepatan maju

53,33 m/menit, kecepatan mundur 66,66 m/menit, waktu tetap 0,10 menit, dan faktor efisiensi total 0,38. Hitung produktivitasnya.

Jawaban:

1. Kapasitas Blade q: $3{,}5\ x\ 0{,}62\ =\ 1{,}26\ m^3$ (teoritis).
2. Waktu Siklus (Cm):

$$Cm = \frac{45}{53{,}33} + \frac{45}{66{,}66} + 0{,}10 = 0{,}843 + 0{,}675 + 0{,}10 = \mathbf{1{,}618\ menit}$$

3. Produktivitas (Q) :

$$Q = \frac{1{,}26 \times 60 \times 0{,}38}{1{,}618} = \mathbf{17{,}73\ m^3/jam}$$

Contoh Soal 2: Analisis Kapasitas Blade Riil (Metode Empiris)

Hitunglah kapasitas blade bulldozer jika panjang blade 3,15 m dan tinggi 0,96 m. Gunakan pendekatan empiris

$$q = \frac{L \times H \times 2H}{2}$$

Jawaban:

$$q = \frac{3{,}15 \times 0{,}96 \times 2(2 \times 0{,}96)}{2} = \frac{3{,}15 \times 0{,}96 \times 1{,}92}{2} = \mathbf{2{,}90\ LCM}$$

Contoh Soal 3: Produktivitas Ripping (Tanah Keras)

Sebuah traktor kuku tunggal (*single shank*) melakukan pembajakan pada jarak 30 meter. Lebar kerja 3,2 m, kedalaman penetrasi 0,3 m. Kecepatan rata-rata 26,6 m/menit, waktu balik 0,25 menit, faktor koreksi 0,5. Hitung produksi dalam BCM.

Jawaban:

1. **Volume per Trip**: $30 \times 3{,}2 \times 0{,}3 = 28{,}8\ \mathrm{m}^3$
2. **Waktu Siklus**: $(30/26{,}6) + 0{,}25\ = 1{,}12 + 0{,}25 = 1{,}37$ menit
3. **Trip Per Jam**: $60/1{,}37\ = 43{,}8$ trip
4. **Produksi**: $28{,}8 \times 43{,}8 \times 0{,}5 = 630{,}7$ BCM/Jam

Contoh Soal 4: Pembersihan Lahan (Piling)

Hitung produktivitas penumpukan (*pilling*) vegetasi jika lebar rake blade 3,5 m, kecepatan maju 3,2 km/jam, jarak gusur 30 m, dan faktor efisiensi 0,45.

Jawaban:

Ubah Kecepatan ke m/jam: $3{,}2\ \times 1.000\ =$ m/jam

$$TP = \frac{J \times LK \times 1{,}25 \times FK}{(J/F + J/R + Z) \times 10.000} = \mathbf{0{,}303\ ha/jam}$$

Contoh Soal 5: Produksi Gabungan Ripping-Dozing

Material keras harus dibajak dulu baru didorong. Produksi ripping (TR) = 700 m³/jam. Produksi dozing (TD) = 20 m³/jam. Berapakah produksi gabungan alat tersebut?.

Jawaban:

$$Q_{gab} = \frac{TD \times TR}{TD + TR} = \frac{20 \times 700}{20 + 700} = \frac{14.000}{720} = \mathbf{19,44\ m^3/jam}$$

4.9 RANGKUMAN BAB 4

Bulldozer dan Ripper adalah tulang punggung tahap persiapan konstruksi. Pemilihan antara roda kelabang dan roda ban didasarkan pada kebutuhan akan daya apung atau mobilitas. *Engineer* harus mahir menyesuaikan tipe *blade* dengan material lapangan dan memperhitungkan waktu siklus secara presisi guna mendapatkan estimasi produktivitas yang akurat. Di masa depan, integrasi *GPS Machine Control* pada blade bulldozer akan meminimalisir kesalahan elevasi secara otomatis.

Catatan Penting

Menghitung Kapasitas Produksi Alat Berat

Menghitung kapasitas produksi alat berat adalah proses menentukan kemampuan suatu alat untuk menghasilkan volume pekerjaan dalam satu satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam m³/jam, ton/jam, atau cycle/jam.

Secara umum, terdapat rumus dasar yang digunakan sebagai fondasi perhitungan untuk berbagai jenis alat berat, namun setiap alat memiliki variabel penyesuai tergantung pada fungsinya.

Rumus Dasar Produktivitas

Rumus standar yang digunakan adalah:

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{Cm}$$

Di mana:

- Q : Produktivitas alat berat (m³/jam).
- q : Kapasitas produksi per siklus (m³).
- 60 : Konversi dari menit ke jam.
- E : Efisiensi kerja (biasanya berkisar antara 0,75 – 0,90).
- Cm : Waktu siklus atau *cycle time* dalam menit.

Komponen Utama dalam Perhitungan

Untuk mendapatkan hasil yang akurat, Anda harus memahami tiga faktor penentu berikut:

- Kapasitas Alat (q): Ini adalah volume material yang dapat ditangani alat dalam satu siklus, seperti ukuran *bucket* pada ekskavator atau lebar *blade* pada buldozer. Nilai ini sering dikalikan dengan Faktor Pengisian (*Fill Factor* atau *Bucket Factor*) karena material di lapangan tidak selalu mengisi wadah alat secara penuh.
- Waktu Siklus (Cm): Total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu rangkaian operasi penuh.
  - Contoh siklus ekskavator: Menggali => Mengayun bermuatan => Membuang => Mengayun kosong.
  - Contoh siklus truk: Memuat => Mengangkut => Membuang => Kembali.
- Efisiensi Kerja (E): Koreksi terhadap kondisi riil di lapangan, seperti keterampilan operator, kondisi cuaca, pemeliharaan alat, dan medan kerja.

Variasi Rumus Berdasarkan Jenis Alat

Beberapa alat memerlukan rumus spesifik karena cara kerjanya yang unik:

- Ekskavator (*Backhoe*):
  $$Q = \frac{q \times FF \times 3600 \times E}{Cm}$$
  Catatan: Menggunakan 3600 jika Cm dalam detik.
- Buldozer (*Dozing*): Produktivitas dihitung berdasarkan kapasitas pisau (*blade*) dan jarak dorong. Waktu siklusnya dihitung dengan rumus:
  $$Cm = \frac{J}{F} + \frac{J}{R} + Z$$
  di mana J adalah jarak, F kecepatan maju, R kecepatan mundur, dan Z waktu tetap.
- Alat Pemadat (*Compactor*):
  $$Q = \frac{W \times H \times V \times 1.000 \times E}{N}$$
  Di mana W adalah lebar pemadatan, H tebal lapisan, V kecepatan operasi, dan N jumlah lintasan (*pass*).
- Motor Grader: Produktivitas dihitung berdasarkan luas area yang diratakan per jam:
  $$Q = V \times (L_e - L_o) \times 1.000 \times E$$
  di mana L_e adalah lebar pisau efektif dan L_o adalah lebar tumpang tindih (*overlap*).

Pengaruh Sifat Material (BCM, LCM, CCM)

Penting untuk diingat bahwa tanah mengalami perubahan volume.

- BCM (*Bank Cubic Meter*): Kondisi asli di alam.
- LCM (*Loose Cubic Meter*): Kondisi gembur setelah digali, biasanya volume bertambah (*Swell*).
- CCM (*Compacted Cubic Meter*): Kondisi setelah dipadatkan, volume menyusut (*Shrinkage*). Hasil perhitungan produktivitas harus selalu disesuaikan dengan faktor konversi volume ini agar sesuai dengan kebutuhan target proyek.

Cara Mensimulasikan Perhitungan Armada Ekskavator Dan Truk

Mensimulasikan perhitungan untuk armada ekskavator dan truk merupakan inti dari sistem manajemen armada (*fleet management*) guna menciptakan keseimbangan kapasitas kerja yang optimal atau *matching equipment*. Berikut adalah langkah-langkah sistematis untuk mensimulasikan perhitungan tersebut berdasarkan sumber referensi teknis:

1. Analisis Waktu Siklus Ekskavator (CT_{loader})
   Langkah pertama adalah menentukan waktu yang dibutuhkan ekskavator untuk menyelesaikan satu siklus pemuatan. Waktu siklus ini terdiri dari empat elemen:
   - DgT $(Digging\ Time)$: Waktu untuk menggali atau mengisi *bucket*.
   - STL $(Swing\ Loaded\ Time)$: Waktu ayun saat *bucket* terisi material menuju truk.
   - DpT $(Dumping\ Time)$: Waktu untuk menumpahkan material ke dalam bak truk.
   - SET $(Swing\ Empty\ Time)$: Waktu ayun kosong kembali ke posisi gali. Rumus: $CT_{loader} = DgT + STL + DpT + SET$.
2. Menentukan Jumlah Pemuatan (n) Per Truk

Simulasi harus menentukan berapa kali ekskavator perlu mengisi truk hingga penuh. Hal ini bergantung pada rasio kapasitas bak truk terhadap kapasitas *bucket* ekskavator yang sudah dikoreksi faktor pengisian (*Fill Factor*). Rumus:

$$n = \frac{Kapasitas\ Bak\ Truck}{Kapastias\ Bucket\ \times Fill\ Factor}$$

3. Analisis Waktu Siklus Truk (CT_{truck})
   Waktu siklus truk lebih kompleks karena melibatkan variabel jarak angkut dan kondisi jalan. Komponennya meliputi:
   - LT (*Loading Time*): Waktu pemuatan oleh ekskavator, dihitung dari $n \times CT_{loader}$
   - HLT (*Hauling Time*): Waktu angkut bermuatan menuju lokasi pembuangan (D/v_1).
   - DT (*Dumping Time*): Waktu untuk manuver dan menumpahkan muatan di lokasi pembuangan (t_1).
   - RT (*Return Time*): Waktu perjalanan kembali dalam kondisi kosong (D/v_2).
   - SLT (*Spotting/Queueing Time*): Waktu untuk antre dan mengambil posisi sebelum dimuati kembali (t_2). Rumus: $CT_{truck} = LT + HLT + DT + RT + SLT$.
4. Menghitung Jumlah Truk Optimal (N)
   Tujuan simulasi ini adalah agar ekskavator tidak menunggu truk (*idle*) dan truk tidak antre terlalu lama. Jumlah truk yang seimbang secara teoritis dihitung dengan rasio waktu siklus:
   Rumus:
   $$N = \frac{CT_{truck}}{LT}$$
5. Evaluasi dengan *Match Factor* (MF)
   Setelah menentukan jumlah truk di lapangan, gunakan *Match Factor* untuk mengevaluasi keserasian kerja armada:
   Rumus:
   $$MF = \frac{N_{truck} \times n \times CT_{louder}}{N_{louder} \times CT_{truck}}$$
   Interpretasi Hasil Simulasi:
   - $MF < 1$: Ekskavator terlalu produktif dibandingkan jumlah truk, sehingga ekskavator akan memiliki waktu tunggu (*window time*). Solusinya adalah menambah jumlah truk.
   - $MF = 1$: Keseimbangan sempurna, tidak ada waktu tunggu di kedua belah pihak.
   - $MF > 1$: Jumlah truk berlebih, sehingga truk akan antre menunggu giliran dimuati (*hanging time*).
6. Simulasi Produktivitas Sistem
   Produktivitas total sistem ditentukan oleh unit dengan kapasitas paling rendah (*bottleneck*).
   - Jika $MF < 1$, produktivitas sistem dibatasi oleh kapasitas angkut truk.
   - Jika $MF > 1$, produktivitas sistem dibatasi oleh kapasitas muat ekskavator.

Dalam praktik modern, simulasi ini dapat ditingkatkan akurasinya menggunakan teknologi BIM untuk pemetaan jalur *hauling* yang optimal atau sistem AI Fleet Management untuk memantau waktu siklus secara *real-time* guna meminimalkan biaya operasional.

Perbedaan efisiensi antara mesin penggerak empat roda (four-cycle engines) dan dua roda (two-cycle engines)

Perbedaan efisiensi antara mesin penggerak empat roda (*four-cycle engines*) dan dua roda (*two-cycle engines*) dapat ditinjau dari beberapa aspek teknis seperti penurunan tenaga akibat ketinggian, kapasitas tarik, serta stabilitas operasional. Berdasarkan sumber-sumber yang tersedia, berikut adalah rincian perbedaannya:

1. Penurunan Tenaga Akibat Ketinggian (*Altitude De-rating*)
   Efisiensi mesin sangat dipengaruhi oleh ketinggian lokasi kerja dari permukaan laut karena kerapatan udara yang berkurang memengaruhi pembakaran.
   - Mesin Penggerak Empat Roda (*Four-Cycle Engines*): Mengalami penurunan tenaga yang lebih besar, yaitu sebesar 3% dari total HP untuk setiap penambahan ketinggian 1.000 kaki di atas 3.000 kaki pertama dari permukaan laut. Sebagai contoh, traktor 100 HP yang bekerja di ketinggian 10.000 kaki hanya memiliki tenaga efektif sebesar 79 HP (efisiensi 79%).
   - Mesin Penggerak Dua Roda (*Two-Cycle Engines*): Jauh lebih efisien di ketinggian karena hanya mengalami pengurangan tenaga sebesar 1% untuk tiap penambahan ketinggian 1.000 kaki. Secara umum, kehilangan daya mesin 2-langkah hanya sekitar setengah dari laju kehilangan mesin 4-langkah.
2. Kapasitas Tarik dan Gejala Selip
   Terdapat perbedaan signifikan pada kemampuan menyalurkan tenaga mesin menjadi tenaga tarik efektif:
   - Penggerak Dua Roda: Memiliki kemampuan menarik yang lebih besar karena seluruh berat alat dilimpahkan hanya pada dua roda tersebut, sehingga tekanan pada titik kontak tanah lebih tinggi. Namun, hal ini menyebabkan kemungkinan selip yang lebih besar dibandingkan tipe roda empat.
   - Penggerak Empat Roda: Memiliki traksi yang lebih baik sehingga kemungkinan selip lebih kecil. Distribusi berat yang merata ke empat roda membuat penyaluran tenaga lebih stabil di berbagai medan.
3. Hambatan Gulir dan Biaya Perawatan
   - Penggerak Dua Roda: Lebih efisien dalam hal mekanis karena memiliki tahanan gelinding (*rolling resistance*) yang lebih kecil akibat jumlah roda yang lebih sedikit. Selain itu, biaya pemeliharaannya lebih murah.
   - Penggerak Empat Roda: Meskipun memiliki hambatan gulir yang lebih tinggi, alat ini lebih nyaman dikemudikan dan jauh lebih stabil pada kondisi jalan yang sangat buruk, sehingga memungkinkan pengoperasian pada kecepatan yang lebih tinggi.
4. Kelincahan dan Mobilitas

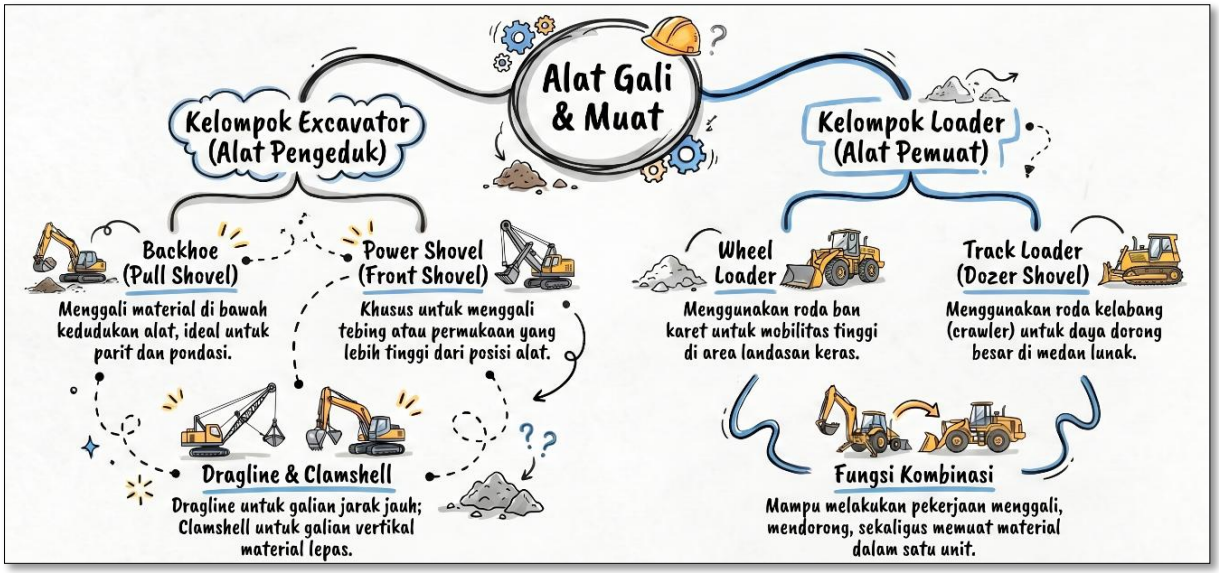
- Tipe Dua Roda umumnya dianggap lebih lincah dalam bermanuver, namun memiliki risiko bahaya operasional yang sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan traktor roda empat.
- Tipe Empat Roda lebih cocok untuk pekerjaan yang membutuhkan stabilitas tinggi dan jarak angkut yang lebih jauh dengan kecepatan yang lebih besar.

Secara ringkas, mesin dua roda lebih efisien dalam mempertahankan tenaga di dataran tinggi dan kapasitas tarik maksimal, sementara mesin empat roda lebih efisien dalam hal stabilitas, kontrol traksi (anti-selip), dan kenyamanan operasional di medan yang berat.

BAB 5
ALAT PENGGALI DAN PEMUAT (EXCAVATOR DAN LOADER)

5.1 PENDAHULUAN

Dalam manajemen pemindahan tanah mekanis, kelompok alat penggali (*excavating*) dan pemuat (*loading*) merupakan unit produksi utama yang menentukan ritme kerja seluruh armada proyek. Excavator dirancang khusus untuk melepaskan material dari kedudukan aslinya di alam, sementara Loader berfungsi sebagai unit pembantu untuk memindahkan material dari timbunan (*stockpile*) ke dalam alat angkut. Sinergi antara kapasitas muat kedua alat ini dengan alat angkut (*matching equipment*) adalah kunci efisiensi biaya dan waktu pada proyek konstruksi.



Gambar 5.1 Klasifikasi Kelompok Alat Gali dan Muat

5.2 ALAT PENGGALI (EXCAVATOR)

5.2.1. Definisi dan Karakteristik Umum

Excavator adalah alat berat yang memiliki bagian atas (*revolving unit*) yang dapat berputar 360^0 secara mandiri terhadap sistem penggerak bawahnya (*travelling unit*). Komponen utama excavator meliputi *boom*, *arm*, *bucket*, kabin operator, dan *undercarriage*. Keunggulan utama alat ini adalah fleksibilitasnya; dengan mengganti *attachment*, satu unit excavator dapat berfungsi sebagai penggali, pemuat, pemancang cerucuk, hingga penghancur beton.

5.2.2. Jenis-Jenis Excavator Berdasarkan Konfigurasi

1. *Backhoe (Pull Shovel)*

Backhoe adalah jenis excavator yang paling umum digunakan dalam konstruksi sipil. Alat ini khusus dirancang untuk menggali material yang berada di bawah permukaan tanah atau di bawah tempat kedudukan alat tersebut.

- Aplikasi: Penggalian saluran, parit, pondasi gedung (*basement*), dan lubang galian pipa.
- Mekanisme: Gerakan bucket adalah ke arah operator (menarik), yang memungkinkan pengaturan kedalaman galian dengan ketelitian tinggi.

2. *Power Shovel (Front Shovel)*

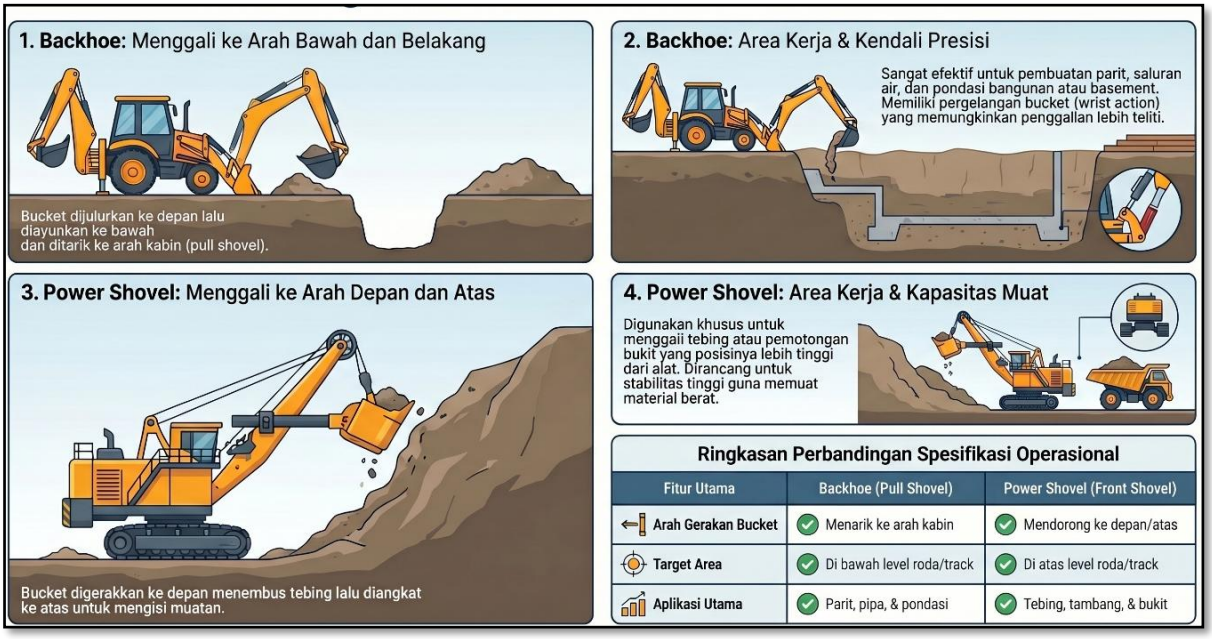
   Power shovel atau hydraulic shovel digunakan terutama untuk menggali tebing yang letaknya lebih tinggi dari tempat kedudukan alat tersebut.

   - Aplikasi: Proyek pertambangan skala besar, penggalian tebing jalan raya, dan pembuatan timbunan persediaan (stockpiling).
   - Mekanisme: Bucket mendorong ke depan dan ke atas untuk menusuk tebing galian. Keunggulan utamanya adalah kapasitas bucket yang sangat besar dan tenaga gali yang kuat.

3. *Dragline* (Excavator Pengeduk Tarik)

   Dragline menggunakan tali baja (*cable controlled*) untuk mengoperasikan bucket-nya. Jangkauan dragline jauh lebih luas dan dalam dibandingkan backhoe atau shovel.

   - Aplikasi: Penggalian di bawah air, pembersihan sungai, danau, atau rawa di mana alat tidak perlu masuk ke lokasi galian yang berlumpur.
   - Kekurangan: Kapasitas produksinya relatif lebih rendah (hanya 70% – 80% dari power shovel pada ukuran yang sama) karena kontrol bucket yang kurang kaku.



Gambar 5.2: Perbandingan Area Gali Backhoe vs. Power Shovel

4. *Clamshell* (Pengeruk Japit)
   Clamshell memiliki bucket yang menyerupai cangkang ganda yang dapat membuka dan menjepit secara vertikal.
   - Aplikasi: Mengambil material lepas (*loose material*) seperti pasir, kerikil, dan lumpur dari kedalaman yang cukup dalam secara vertikal.

5.2.3. Variasi Sistem Penggerak (Undercarriage)

1. *Crawler Excavator:* Menggunakan roda rantai. Sangat stabil dan memiliki traksi yang baik di medan lunak, berlumpur, atau berbatu tajam.
2. *Wheel Excavator:* Menggunakan roda ban karet. Memiliki mobilitas tinggi untuk berpindah antar lokasi proyek tanpa bantuan trailer, namun daya apungnya rendah sehingga mudah amblas di tanah lunak.

5.3 ALAT PEMUAT *(LOADER)*

5.3.1. Fungsi dan Klasifikasi

Loader adalah alat berat yang fungsi pokoknya adalah memuat material hasil galian atau peledakan ke dalam unit pengangkut (*dump truck*) atau memindahkannya dalam jarak pendek. *Loader* lebih efisien dalam pengangkutan jarak pendek dibandingkan bulldozer karena tidak ada material yang tercecer dari bucket-nya.

Jenis loader berdasarkan penggeraknya:

- *Wheel Loader:* Menggunakan ban karet, gesit, dan memiliki radius putar kecil (terutama tipe *articulated*).
- *Track Loader (Dozer Shovel):* Menggunakan roda rantai. Merupakan kombinasi bulldozer dan loader yang sangat stabil di medan berat.

5.3.2. Stabilitas dan Kapasitas Angkat

Dalam pengoperasian loader, parameter kritis yang harus diperhatikan adalah *Static Tipping Load*, yaitu beban minimal pada bucket yang dapat menyebabkan bagian belakang alat terangkat/terguling ke depan.

- *Operating Load Wheel Loader* **:** 50% dari *static tipping load*.
- *Operating Load Crawler Loader* *:* 35% dari *static tipping load*.

Tabel 5.1 Metode Pemuatan Loader

Metode	*Deskripsi*	*Efisiensi*
I-Shape / Cross Loading	Truk sejajar dengan front galian, loader bergerak maju-mundur lurus.	Sedang
V-Shape Loading	Loader bergerak membentuk pola huruf V untuk meminimalkan jarak tempuh.	Tinggi
Load and Carry	Loader mengangkut material langsung ke titik buang dalam jarak pendek.	Rendah (untuk muat)

(Sumber: Diolah dari Wedhanto, 2009 & Indrayani, 2010)

5.4 ANALISIS PRODUKTIVITAS ENGINEERING

Produktivitas alat dihitung berdasarkan kapasitas per siklus, waktu siklus riil, dan efisiensi kerja di lapangan.

5.4.1. Rumus Dasar Produktivitas Excavator

$$Q = \frac{q \times 3.600 \times E}{Cm}$$

Q = Produktivitas ($\boldsymbol{m^3/jam}$)

q = Kapasitas produksi per siklus ($\boldsymbol{m^3}$) ➔ $q = q_1 \times K \times sf$

q_1 = Kapasitas bucket nominal.

$K\ /\ FF$ = *Fill Factor* atau *Bucket Factor* (faktor pengisian).

sf = *Swell Factor* (untuk hasil dalam BCM).

3600 = Konversi detik ke jam.

E = Efisiensi kerja total.

Cm = Waktu siklus dalam detik ($DgT + STL + DpT + SET$).

5.5 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Produktivitas Excavator Backhoe PC 400

Diketahui sebuah excavator Komatsu PC 400 memiliki kapasitas bucket 1,8 m^3 Kondisi material adalah tanah liat basah dengan *Bucket Factor* 0,85 dan *Swell Factor* 0,85. Waktu siklus rata-rata lapangan adalah 18,34 detik dengan efisiensi kerja 70%. Hitung produktivitas per jam dalam satuan BCM.

Jawaban:

1. Kapasitas per siklus
   $q = 1{,}8 \times 0{,}85 \times 0{,}85 = \mathbf{1{,}3005\ BCM}$
2. Produktivitas :
   $$Q = \frac{1{,}3005 \times 3.600 \times 0{,}70}{18{,}34} = \mathbf{178{,}74\ BCM/Jam}$$

Contoh Soal 2: Estimasi Durasi Proyek Galian

Sebuah proyek memerlukan galian tanah sebesar 12.000 m^3. Jika produktivitas unit excavator adalah 120 m^3/jam dan jam kerja efektif adalah 8 jam/hari, berapa hari durasi penyelesaian pekerjaan tersebut?

Jawaban:

1. Produksi harian : $120 \text{ x } 8 = 960\ \text{m3/hari}$
2. Durasi : 12.000 / 960 = 12,5 hari. *Dibulatkan menjadi 13 hari kerja.*

Contoh Soal 3: Kontrol Stabilitas Wheel Loader 950B

Sebuah Wheel Loader 950B memiliki *Static Tipping Load* saat membelok sebesar 9.550 kg. Kapasitas bucket yang digunakan adalah 2,03 m^3 untuk memuat material dengan berat isi 1.660 kg/m^3. Apakah loader aman dari risiko terguling?

Jawaban:

1. Kapasitas angkat aman (SAE) : $50\% \text{ x } 9.550 = 4.775 \text{ kg}$.
2. Berat muatan riil : $2{,}03 \text{ x } 1.660 = 3.369{,}8 \text{ kg}$.
3. Analisis : Karena $3.369{,}8 \text{ kg} < 4.775 \text{ kg}$, maka loader **AMAN** dan tidak akan terguling.

Contoh Soal 4: Perhitungan Fill Factor (FF)

Bucket nominal excavator adalah 1,2 m^3. Namun, saat penggalian tanah lempung lengket, volume material yang terangkat secara aktual hanya 1,0 m^3. Berapakah nilai *Fill Factor*-nya?

Jawaban:

$$FF = \frac{\text{Isi Aktual}}{\text{Kapasitas Nominal}} = \frac{1{,}0}{1{,}2} = \mathbf{0,83}$$

Contoh Soal 5: Produksi Clamshell

Sebuah Clamshell bekerja dengan waktu siklus total33,3 detik. Kapasitas bucket efektif adalah 55 cu-ft dan efisiensi kerja 50/60 (50 menit per jam). Hitung produksi per jam dalam satuan m^3.

Jawaban:

1. Konversi Waktu: $33{,}3 \text{ detik} = 0{,}555 \text{ Menit}$
2. Produksi: $\text{Q} = (60 : 0{,}555) \times 55 \times (50 : 60) = 4{,}959 \text{ cu} - \text{ft/jam}$
3. Konversi ke m^3: $180 m^3/\text{jam (LCM)}$

5.6 KESIMPULAN BAB 5

Pemilihan antara excavator dan loader didasarkan pada posisi galian terhadap alat dan mobilitas yang dibutuhkan. Backhoe unggul dalam akurasi galian bawah permukaan, sementara power shovel menjadi andalan untuk volume galian besar di tebing tinggi. Di sisi lain, loader menawarkan kecepatan pemuatan yang lebih tinggi dibandingkan excavator. Penguasaan terhadap analisis waktu edar (*cycle time*) dan faktor pengisian (*fill factor*) menjadi kompetensi wajib bagi engineer untuk menjamin tercapainya target produksi harian di lapangan.

Catatan Penting

Kelebihan Crawler Excavator Dibanding Wheel Excavator

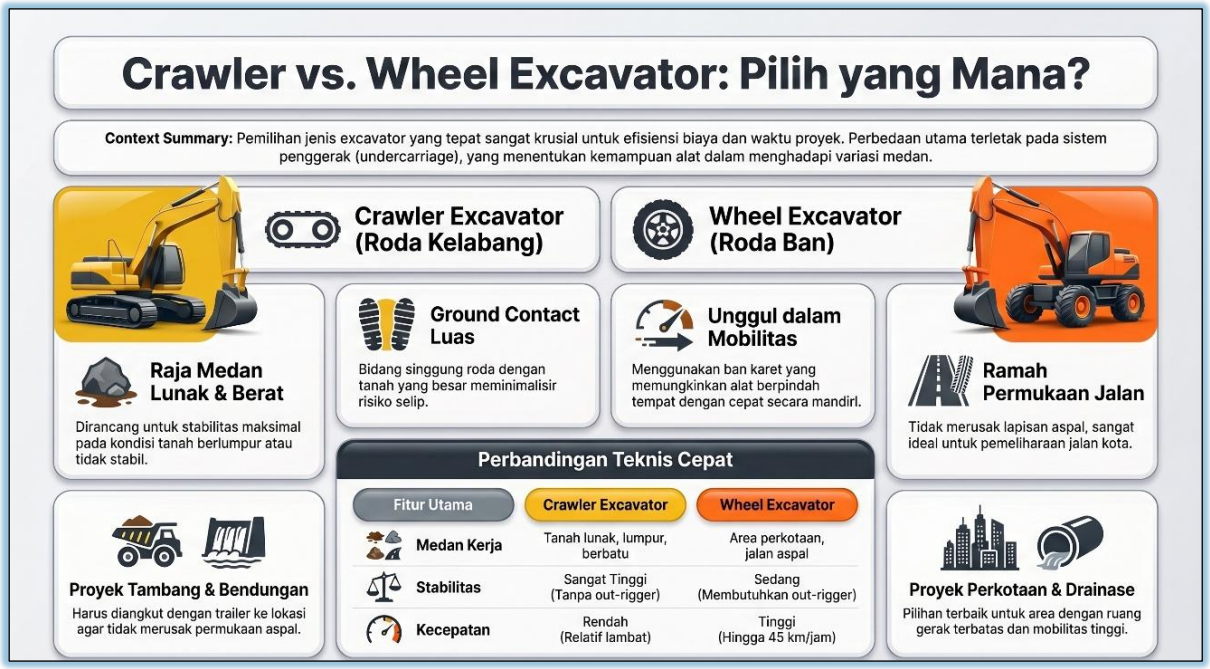
Berdasarkan sumber-sumber yang tersedia, *crawler excavator* memiliki beberapa kelebihan utama dibandingkan dengan *wheel excavator*, terutama dalam hal traksi, stabilitas, dan kemampuan beroperasi di medan yang sulit.

Berikut adalah rincian kelebihan crawler excavator:

- Traksi dan Tenaga Tarik yang Lebih Besar: *Crawler excavator* memiliki tenaga tarik *(tractive effort)* yang besar karena seluruh berat alat tertumpu pada bidang kontak

yang luas antara rantai baja dengan permukaan tanah. Hal ini membuat kemungkinan terjadinya selip menjadi sangat kecil dibandingkan dengan penggunaan roda ban karet.

- Daya Apung *(Flotation)* Tinggi dan Tekanan Jejak Rendah: Karena memiliki bidang singgung (*ground contact*) yang luas, crawler excavator mempunyai daya apung yang lebih besar. Tekanan roda per satuan luasnya lebih kecil (*low ground pressure*), sehingga alat ini mampu bekerja secara efektif di atas tanah lunak, lumpur, atau rawa tanpa risiko amblas.
- Ketahanan di Medan Ekstrem: Rantai baja pada crawler jauh lebih tahan terhadap medan yang terdiri dari batuan tajam atau cadas. Pada medan seperti ini, roda ban karet pada wheel excavator akan sangat cepat mengalami kerusakan atau usia pakainya menjadi jauh lebih pendek.
- Stabilitas Operasional yang Lebih Baik: *Crawler excavator* umumnya lebih stabil saat melakukan penggalian berat karena memiliki dasar yang kokoh dan berat. Wheel excavator sering kali membutuhkan alat bantu tambahan berupa *out-riggers* (kaki penopang) agar tidak terguling saat bekerja karena pusat berat alat dapat berada di luar sistem kendaraannya.
- Perawatan Jalan Proyek: Pengoperasian crawler excavator tidak memerlukan pemeliharaan jalan proyek yang ketat. Sebaliknya, wheel excavator sangat bergantung pada kondisi jalan angkut yang terpelihara agar ban tidak terbenam atau rusak.
- Kemampuan di Medan Miring: Penggunaan *track* baja yang lebar mengurangi risiko "*digging in*" sehingga traktor atau excavator menjadi lebih stabil saat beroperasi di area yang tidak rata atau miring.



Gambar 5.3 Perbedaan Crawler dan Wheel Excavator

Secara ringkas, *crawler excavator* lebih diunggulkan untuk proyek berat dan medan lunak, sementara wheel excavator biasanya dipilih untuk pekerjaan di area perkotaan yang mengutamakan mobilitas tinggi dan agar tidak merusak permukaan jalan aspal

Cara Memilih Antara Dump Truck Dan Scraper Untuk Pengangkutan

Pemilihan antara *dump truck* dan *scraper* sebagai unit pengangkut dalam proyek pemindahan tanah mekanis (PTM) sangat bergantung pada analisis variabel lapangan seperti jarak angkut, jenis material, dan metode kerja yang direncanakan. Kedua alat ini memiliki spesialisasi operasional yang berbeda untuk mencapai efisiensi biaya dan waktu.

Berikut adalah kriteria dan cara memilih di antara keduanya berdasarkan sumber referensi teknis:

1. Berdasarkan Jarak Angkut *(Hauling Distance)*

   Jarak lintasan pengangkutan adalah faktor paling krusial dalam menentukan jenis armada.

   - *Scraper*: Paling efektif untuk jarak angkut menengah. Jenis *towed scraper* (ditarik traktor) ekonomis untuk jarak kurang dari 67–90 meter, sedangkan *self-propelled scraper* (bermesin sendiri) mampu bersaing dengan truk pada jarak pengangkutan hingga 5 km karena kegesitannya.
   - *Dump Truck*: Merupakan pilihan utama untuk pengangkutan jarak jauh. Truk lebih efisien pada rute panjang karena kecepatan mobilitasnya yang tinggi di atas jalan angkut (*haul road*) yang terpelihara.

2. Berdasarkan Siklus Kerja dan Kemandirian Alat
   - *Scraper* (Unit Hibrida): Alat ini mampu menggali, memuat, mengangkut, dan menumbangkan material secara mandiri dalam satu siklus kerja. Scraper sangat cocok untuk pekerjaan pengupasan permukaan (*stripping*) dan perataan lahan yang luas karena dapat menghampar muatan secara bertahap setebal ±2,5 mm hingga 10 cm per lintasan.
   - *Dump Truck* (Unit Hauling): Truk bersifat pasif dan memerlukan alat bantu pemuat (seperti *excavator* atau *wheel loader*) untuk mengisi baknya. Efisiensi truk sangat bergantung pada keseimbangan kapasitas dengan alat pemuatnya (*Matching Equipment*) agar tidak terjadi waktu tunggu (*idle*).

3. Berdasarkan Kondisi Material dan Medan
   - Jenis Material:
     - *Scraper* sangat efektif untuk tanah lepas, tanah gembur, dan stripping top soil. Namun, scraper kurang efektif jika digunakan pada medan yang berbatu tajam atau cadas.
     - *Dump truck* lebih fleksibel untuk berbagai jenis material, mulai dari pasir hingga bongkahan batu besar hasil peledakan (*blasting*), terutama jika bak truk diberi bantalan tanah halus (*dirt cushion*) untuk mencegah kerusakan.
   - Kondisi Landasan:
     - Scraper membutuhkan area operasi yang luas untuk manuver penggalian dan pembongkaran material.

- Dump truck memerlukan jalan angkut yang rata, kuat, dan keras. Jika medan sangat berlumpur atau berbukit, pemilihan jenis *Articulated Dump Truck* lebih disarankan karena memiliki traksi dan fleksibilitas rangka yang lebih baik dibanding tipe *rigid*.

Tabel 5.2 Ringkasan Pemilihan Alat Pengangkut

Faktor Penentu	Scraper	Dump Truck
Fungsi Utama	Gali + Muat + Angkut + Hampar	Angkut Material saja
Jarak Ekonomis	Menengah (sampai ±5 km)	Jauh (>5 km)
Material	Tanah lepas, lempung, pasir	Segala jenis (termasuk batu)
Kondisi Jalan	Area luas, gembur/padat	Jalan angkut keras & terawat
Keunggulan	Mandiri, hamparan presisi	Kecepatan tinggi, kapasitas besar
Keterbatasan	Tidak cocok untuk tanah berbatu	Butuh alat muat (*excavator*)

(Sumber: Diolah dari referensi)

Kesimpulan: Gunakan Scraper jika proyek melibatkan pekerjaan *cut and fill* pada area luas (seperti bandara atau lapangan terbang) dengan jarak angkut menengah karena kemampuannya melakukan penyamarataan (*leveling*) secara langsung. Sebaliknya, pilihlah armada Dump Truck jika proyek memiliki volume material besar yang harus dipindahkan ke lokasi yang sangat jauh melalui jalur angkut yang spesifik.

BAB 6
ALAT PENGANGKUT DAN PENGELUPAS (DUMP TRUCK DAN SCRAPER)

6.1 PENDAHULUAN

Kegiatan pemindahan material dalam proyek konstruksi dan pertambangan melibatkan dua fungsi utama: pengangkutan (*hauling*) dan pengelupasan (*stripping*). Alat pengangkut berfungsi memindahkan material secara horizontal dari satu lokasi ke lokasi lain, baik dalam jarak sedang maupun jauh. Sementara itu, alat pengelupas seperti *scraper* merupakan unit hibrida yang memiliki kemampuan unik untuk menggali, memuat, mengangkut, dan menghampar material secara mandiri dalam satu siklus kerja. Pemilihan armada yang tepat sangat bergantung pada jarak angkut, kondisi jalan (*haul road*), dan karakteristik material.

6.2 SCRAPER: UNIT HIBRIDA PENGELUPAS-PENGANGKUT

Scraper adalah alat berat yang didesain untuk mengerjakan tanah lepas, menggali/mengupas permukaan tanah, memuat muatan sendiri, mengangkut, dan kemudian membongkar muatan menjadi lapisan-lapisan yang teratur.

6.2.1. Klasifikasi Scraper

Berdasarkan sistem penggeraknya, *scraper* dibagi menjadi dua jenis utama:

1. *Down Scraper Tractor (Towed Scraper):* Jenis konvensional yang ditarik oleh bulldozer atau traktor. Kapasitas produksinya relatif kecil dan jarak angkut ekonomisnya terbatas di bawah 67 meter.
2. *Self-Propelled Scraper*: Jenis modern yang memiliki mesin penggerak sendiri sehingga gerakannya gesit dan lincah. Untuk jarak angkut sedang (hingga 5 km), efektivitasnya dapat menyaingi *dump truck* dalam hal biaya per ton/m^3.

6.2.2. Fungsi dan Kapasitas Kerja

Scraper mampu menggali atau mengupas permukaan tanah sampai setebal ±2,5 mm hingga 10 cm per lintasan (*pass*). Alat ini sangat efektif untuk pekerjaan:

- *Stripping top soil* (pengupasan lapisan tanah atas yang mengandung material organik).
- Perataan kontur lahan luas seperti lapangan terbang.
- Pekerjaan galian dan timbunan (*cut and fill earthwork*) untuk pembuatan badan jalan.



Gambar 6.1 Alur Operasi Mandiri Scraper

6.3 DUMP TRUCK: UNIT PENGANGKUT UTAMA

Dump truck merupakan alat angkut material dan bahan bangunan yang paling umum digunakan untuk pemindahan jarak jauh karena mobilitasnya yang tinggi.

6.3.1. Klasifikasi Berdasarkan Kapasitas dan Medan

1. *On-Highway Dump Truck:* Digunakan untuk pengangkutan di jalan umum dengan kapasitas standar.
2. *Off-Highway Dump Truck:* Dirancang khusus untuk area tambang, *quarry*, dan proyek konstruksi skala besar dengan kapasitas muatan yang sangat masif (beberapa tipe mampu mengangkut hingga 300 ton).
3. *Articulated Dump Truck (ADT):* Memiliki sistem artikulasi yang fleksibel antara kabin dan bak, sehingga sangat handal untuk beroperasi di medan berat, jalan berlumpur, dan area berbukit.
4. *Rigid Dump Truck:* Memiliki kerangka kaku, biasanya digunakan untuk pengangkutan volume besar di jalan angkut yang lurus dan terpelihara baik.



Gambar 6.2 Perbandingan Visual ADT vs. Rigid Truck

6.3.2. Metode Penumpahan (Dumping)

Berdasarkan cara membongkar muatannya, truk dibedakan menjadi:

- *Rear Dump*: Menumpahkan muatan ke belakang menggunakan sistem hidrolik. Ini adalah tipe yang paling banyak digunakan di proyek konstruksi karena mampu bergerak pada jalan menanjak.
- *Side Dump*: Menumpahkan ke samping, cocok untuk lokasi yang sempit dan panjang.
- *Bottom Dump*: Mengeluarkan material melalui pintu bawah bak saat kendaraan bergerak, cocok untuk menghampar material di area luas namun tidak disarankan untuk medan terjal (maksimal kemiringan 5%).



Gambar 6.3 Klasifikasi Operasional Dump Truck

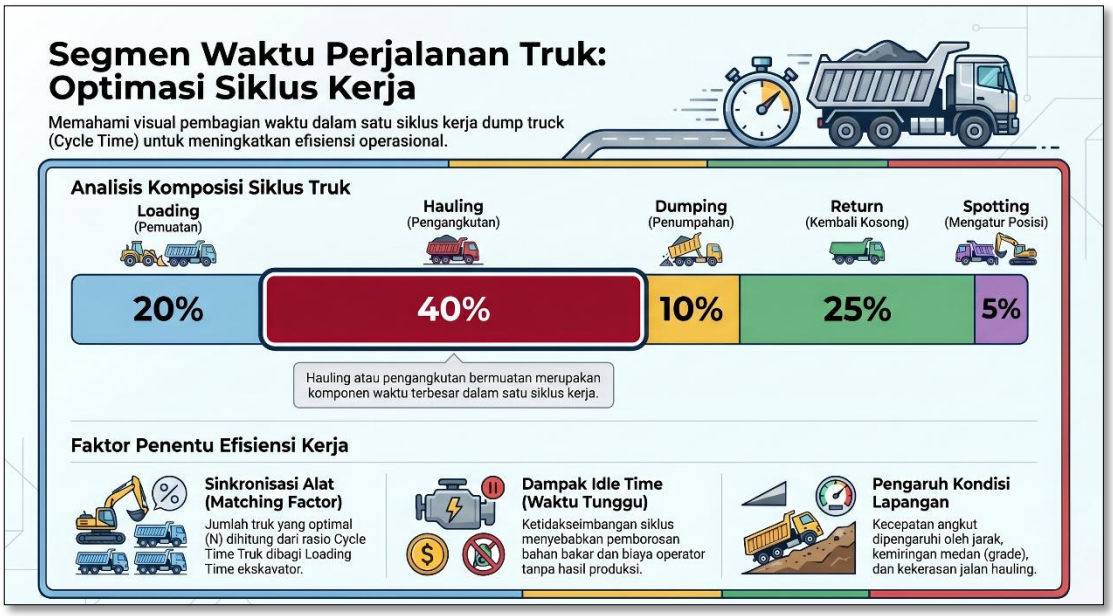
6.4 ANALISIS WAKTU SIKLUS (*CYCLE TIME)*

Waktu siklus menentukan produktivitas alat per jam. Siklus kerja *dump truck* terdiri dari lima segmen utama: *loading, hauling, dumping, returning,* dan *spotting time*.

Formulasi Waktu Siklus Truk: $CT_{truck} = LT + HLT + SDT + DT + RT + SLT$

Di mana:

LT (*Loading Time*)	: Waktu pengisian oleh alat muat (Ekskavator/Loader).
HLT (*Hauling Time*)	: Waktu tempuh perjalanan bermuatan.
DT (*Dumping Time*)	: Waktu untuk manuver dan menumpahkan material (biasanya 0,5 - 2,0 menit tergantung kondisi).
RT (*Return Time*)	: Waktu perjalanan pulang kosong.
SLT (*Spotting Time*)	: Waktu manuver untuk memposisikan truk di lokasi pemuatan.



Gambar 6.4 Segmen Waktu Perjalanan Truk

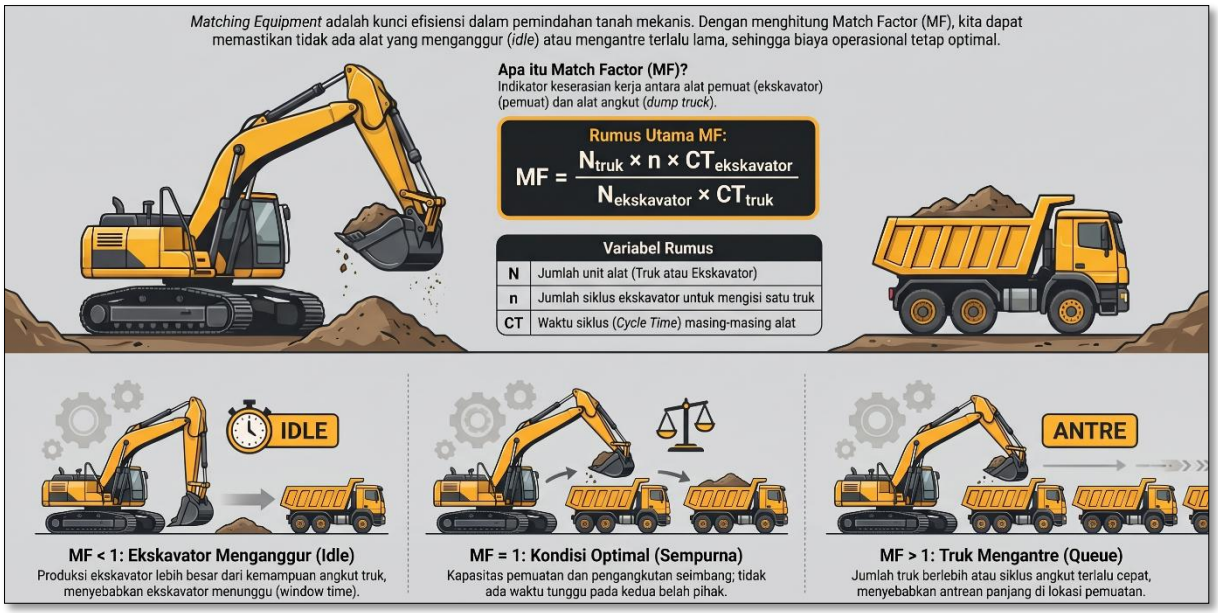
6.5 *MATCHING EQUIPMENT* (KESEIMBANGAN ARMADA)

Dalam pengoperasiannya, kapasitas truk harus diseimbangkan dengan alat pemuatnya (*loader*). Secara umum, perbandingan proporsional yang diambil adalah kapasitas truk berkisar 4 - 5 kali kapasitas alat pemuatnya.

Analisis Jumlah Truk Optimal (N)

$$N = \frac{Cycle\ Time\ Truck}{Loading\ Time}$$

- Jika jumlah truk terlalu sedikit → Ekskavator akan *idle* (menganggur).
- Jika jumlah truk terlalu banyak → Truk akan antre menunggu muatan.



Gambar 6.5 Optimasi Kerja Alat Berat

6.6 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Produktivitas Dasar Dump Truck

Diketahui kapasitas bak truk adalah 8 m³, waktu siklus total adalah 12 menit, dan efisiensi kerja operator adalah 0,80. Hitung produktivitasnya per jam.

Jawaban:

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{Cm}$$

$$Q = \frac{8 \times 60 \times 0{,}80}{12} = \mathbf{32\ m^3/jam}$$

Contoh Soal 2: Kebutuhan Ritase Scraper (Swell & Shrinkage)

Dibutuhkan tanah lempung berkerikil sebanyak 8.000 cu-yd dalam kondisi padat (CCM). Diketahui *shrinkage factor* = 0,80. Jika kapasitas satu *scraper* adalah 18 cu-yd (LCM) dengan *load factor* 0,73, berapa kali pengangkutan yang diperlukan?

Jawaban:

1. Volume tanah asli (BCM) yang diperlukan: $8.000/0{,}80 = 10.000\ \{cu - yd\}$
2. Kapasitas angkut *scraper* dalam BCM: $18 \times 0{,}73 = 13{,}14\ \{cu - yd\}$
3. Jumlah pengangkutan: $10.000\ /\ 13{,}14 = 761{,}03 \approx \{762\}$

Contoh Soal 3: Perhitungan Waktu Siklus Truk Terintegrasi

Truk melayani pengisian dari *loader* dengan waktu pengisian (*LT*) = 2,60 menit. Truk menempuh jarak angkut 1.000 m dengan waktu tempuh pergi-pulang total = 5,21 menit. Waktu *dumping* = 0,7 menit dan waktu *spotting* = 0,5 menit. Hitung CT_{truck}.

Jawaban:

$CT = LT + \text{Waktu Jalan} + DT + SLT$

$$CT = 2{,}60 + 5{,}21 + 0{,}7 + 0{,}5 = \mathbf{9,01\ Menit}$$

Contoh Soal 4: Analisis DBP dan Resistansi Scraper

Traktor roda rantai menarik *scraper* seberat 36 ton. Tahanan gelinding (*Rolling Resistance*) traktor 80 kg/ton (pabrik menghitung 50 kg/ton). RR *scraper* 100 kg/ton. Gigi-3 DBP traktor = 9.200 kg. Hitung sisa DBP yang tersedia jika efisiensi 85%.

Jawaban:

1. RR tambahan tractor : $20\ ton \times (80 - 50) = 600\ kg$.
2. RR *scraper*: $36\ ton \times 100 = 3.600\ kg$.
3. Total $RR\ =\ 4.200\ kg$.
4. DBP Efektif: $85\%\ x\ 9.200\ =\ 7.820\ kg$.
5. Sisa DBP: $7.820\ -\ 4.200\ =\ 3.620\ kg$.

Contoh Soal 5: Penentuan Jumlah Pengisian (n)

Berapa kali ekskavator dengan kapasitas *bucket* 1,8 m³ (*fill factor* 0,85) harus mengisi truk berkapasitas 15 m³?

Jawaban:

$$n = \frac{Kapasitas\ Bak}{Kapasitas\ Bucket \times FF}$$

$$n = \frac{15}{1{,}8 \times 0{,}85} = \frac{15}{1{,}53} = 9{,}8 \approx \mathbf{10\ Kali}$$

Contoh Soal 6: Match Factor (MF)

Satu ekskavator memiliki *loading time* 3 menit dan melayani 4 truk yang masing-masing memiliki waktu siklus total 15 menit. Hitung *Match Factor*.

Jawaban:

$$MF = \frac{N_{truck} \times LT}{CT_{Truck}}$$

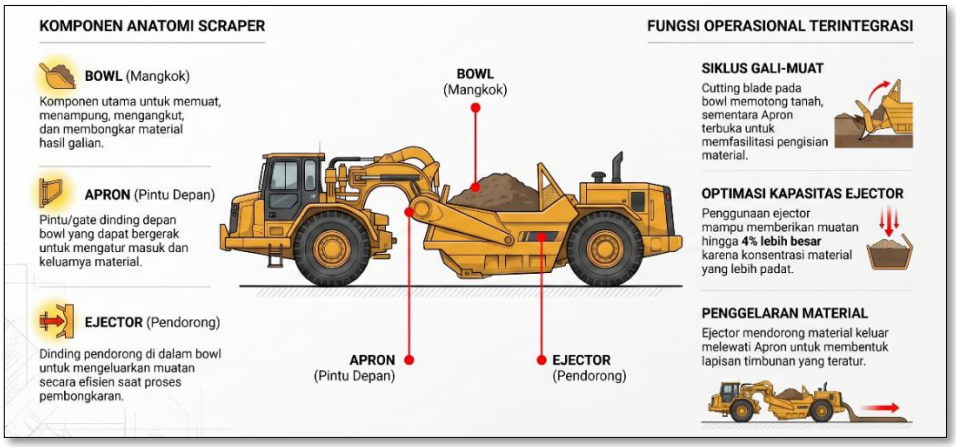
$$MF = \frac{4 \times 3}{15} = \frac{12}{15} = \mathbf{0,80}$$

Analisis: $MF < 1$*, artinya ekskavator akan memiliki waktu tunggu (idle).*

6.7 RANGKUMAN BAB 6

Efisiensi pekerjaan tanah mekanis ditentukan oleh harmoni antara alat gali, muat, dan angkut. *Scraper* menawarkan solusi mandiri untuk jarak menengah, sementara *dump truck* tetap menjadi tulang punggung pengangkutan jarak jauh. Keberhasilan operasi ini sangat bergantung pada manajemen jalan angkut untuk meminimalkan *rolling resistance* serta pemantauan data *real-time* seperti konsumsi BBM dan *cycle time* untuk menekan biaya operasional.

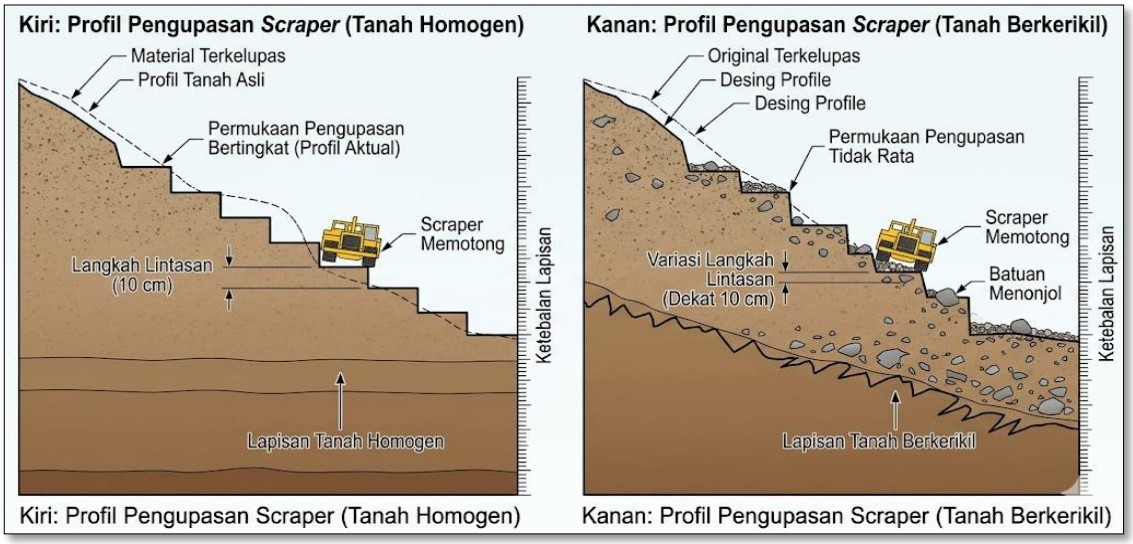
Apendiks Bab 6:



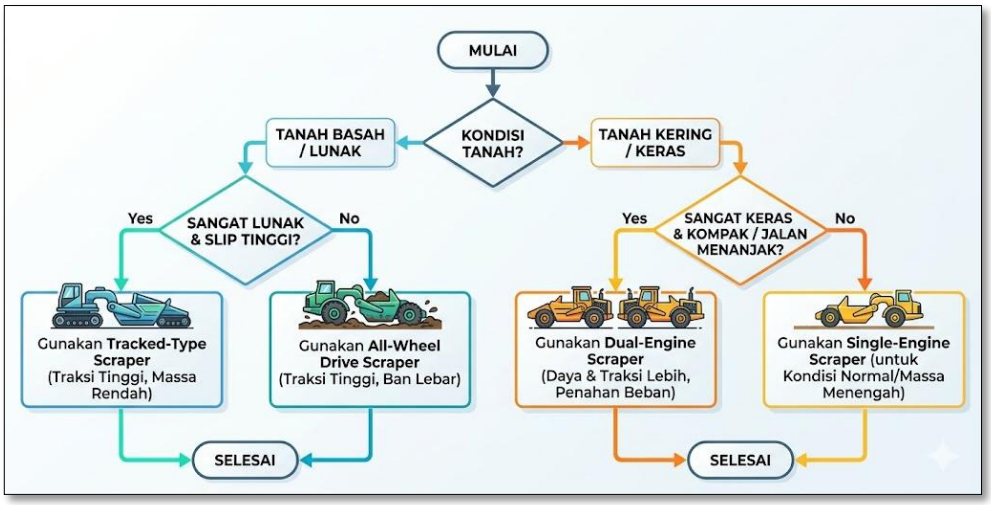
Gambar 6.6 Anatomi Komponen Scraper



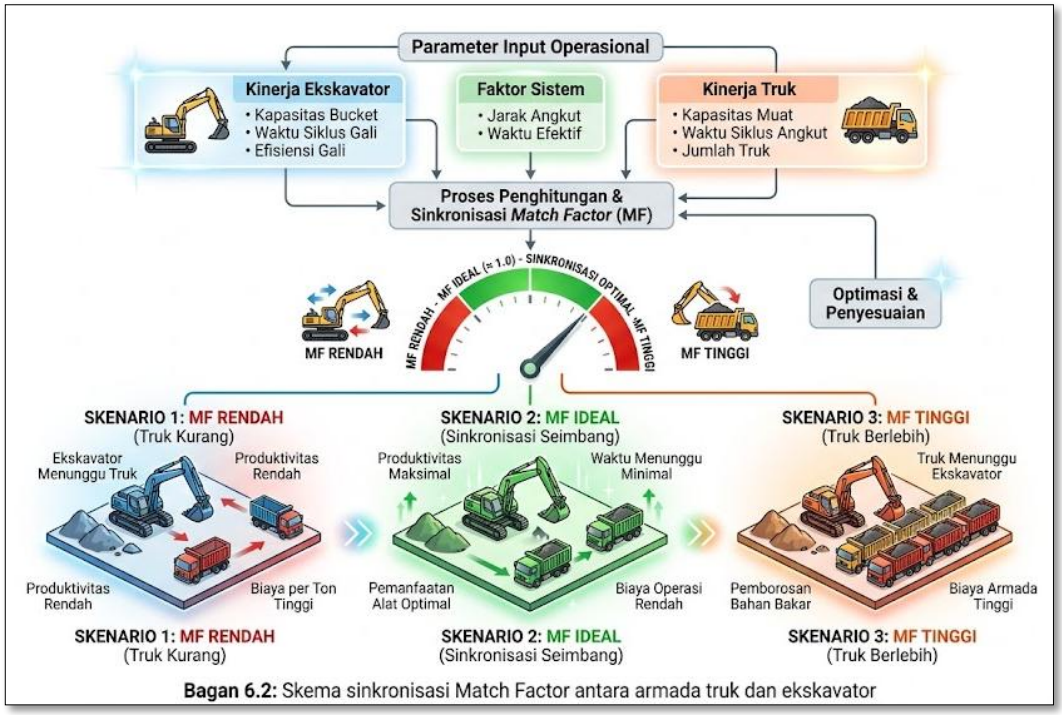
Gambar 6.7 Foto Operasional Dump Truck Area Tambang



Gambar 6.8 Perbandingan Profil Tanah Asli Pengupasan Scraper



Gambar 6.9 Diagram Alir Pemilihan Tipe Scraper Berdasarkan Kondisi Tanah (Basah Vs Kering)



Gambar 6. 10 Skema Sinkronisasi *Match Factor* Antara Armada Truk Dan Ekskavator

Tabel 6. 1 Daftar Koefisien Rolling Resistance untuk Berbagai Jenis Permukaan Jalan

Jenis Permukaan Jalan	Deskripsi Kondisi Lapangan	Koefisien (%)	Ekuivalen (kg/ton)
Keras dan Mulus	Jalan beton atau aspal yang permukaannya sangat rata, keras, dan terawat dengan sangat baik.	1.5% - 2.0%	15 - 20
Keras dan Terawat	Jalan tanah atau kerikil yang dipadatkan (makadam), kering, tidak amblas di bawah beban berat, dan rutin dirawat.	2.0% - 3.0%	20 - 30

Sedang (Jalan Biasa)	Jalan tanah atau kerikil biasa, sedikit bergelombang, agak lunak saat dilewati, kering namun tidak dipadatkan secara khusus.	3.0% - 5.0%	30 - 50
Lunak dan Bergelombang	Jalan tanah basah, bergelombang, bekas lintasan alat berat (rutting) dangkal, atau mengandung lumpur tipis.	5.0% - 8.0%	50 - 80
Sangat Lunak / Gembur	Jalan lumpur tebal, pasir gembur kering, kerikil lepas, atau tanah yang sangat amblas saat dilewati beban.	8.0% - 15.0%	80 - 150

BAB 7
ALAT PEMBENTUK PERMUKAAN DAN PERATAAN (MOTOR GRADER)

7.1 FILOSOFI DAN DEFINISI DASAR

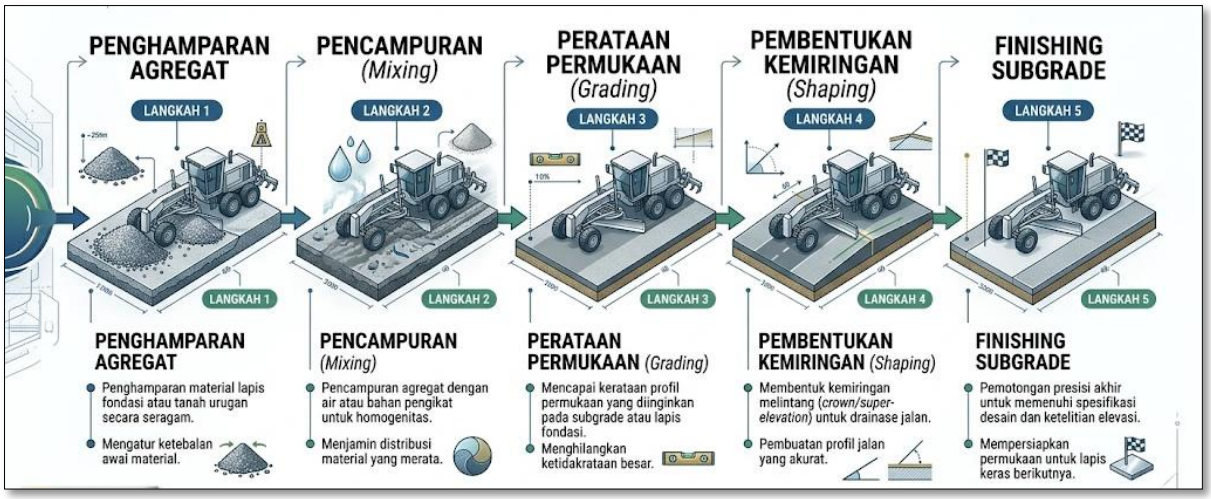
Motor Grader merupakan alat berat yang memiliki spesialisasi utama dalam pekerjaan pembentukan permukaan tanah secara mekanis untuk mencapai elevasi dan kemiringan (*grade*) yang dikehendaki. Berbeda dengan bulldozer yang berfungsi untuk pemindahan tanah volume besar, motor grader dirancang untuk pekerjaan presisi tinggi pada tahap penyelesaian (*finishing*).

Alat ini menggunakan traktor sebagai penggerak utama (*prime mover*) dengan komponen kerja utama berupa pisau lebar (*moldboard* atau *blade*) yang terletak di antara roda depan dan roda belakang. Penempatan *blade* di tengah ini memberikan kestabilan operasional yang jauh lebih baik dibandingkan bulldozer dalam hal meratakan gundukan tanah yang kecil.

7.2 FUNGSI OPERASIONAL MOTOR GRADER

Berdasarkan aplikasi di lapangan konstruksi jalan dan pemindahan tanah, motor grader memiliki fungsi yang sangat serbaguna (*versatile*), antara lain:

1. *Grading* (Perataan): Meratakan permukaan tanah, sirtu, atau agregat agar sesuai dengan level rencana.
2. *Shaping/Bank Shaping*: Memotong tanah untuk mendapatkan profil atau bentuk permukaan tertentu, termasuk membentuk kemiringan tebing (*slope*).
3. *Spreading* (Penghamparan): Menyebarkan material timbunan yang ditumpahkan oleh dump truck dalam lapisan-lapisan tipis yang merata (biasanya 20-30 cm).
4. *Mixing* (Pencampuran): Mencampur dua atau lebih jenis material di lapangan (seperti tanah dengan semen atau agregat kasar dengan halus) melalui gerakan bolak-balik blade.
5. *Ditching* (Pembuatan Saluran): Membentuk parit atau saluran drainase samping jalan dalam bentuk V atau bentuk lainnya.
6. *Scarifying* (Penggarukan): Menggaruk permukaan tanah yang keras menggunakan kuku macan (*scarifier teeth*) agar lebih mudah diratakan atau diperbaiki.
7. *Maintenance* (Perawatan Jalan): Merawat jalan angkut (*haul road*) di area tambang atau konstruksi untuk meminimalkan *rolling resistance* alat angkut.

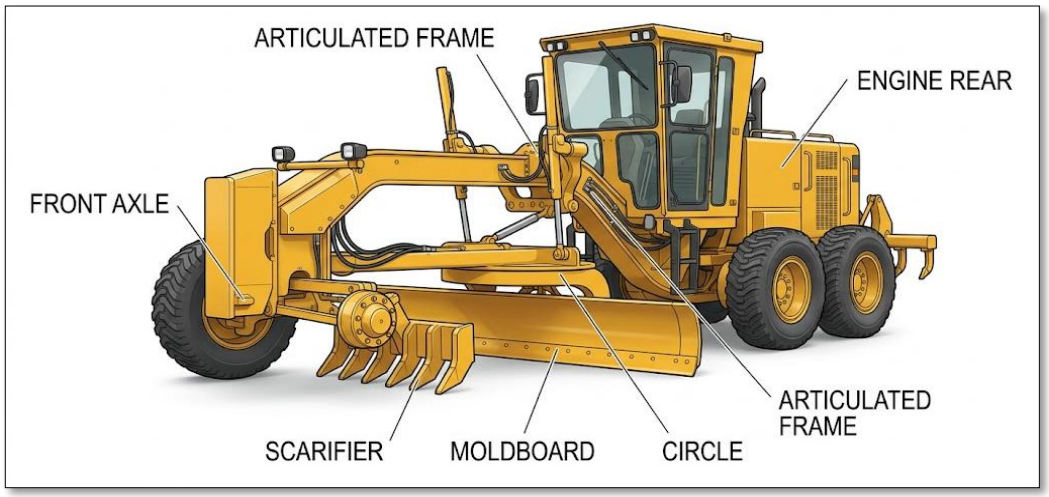


Gambar 7. 1 Hirarki Operasi Motor Grader dalam Proyek Jalan

7.3 ANATOMI DAN KOMPONEN UTAMA

Struktur mekanis motor grader terdiri dari beberapa bagian krusial yang mendukung akurasi kerjanya:

- *Moldboard/Grader Blade*: Pisau utama yang dapat diputar, dimiringkan, dan digeser secara lateral untuk mengarahkan aliran material.
- *Circle:* Komponen berbentuk cincin besar yang menopang blade dan memungkinkannya berputar 360 derajat.
- *Drawbar:* Batang penarik yang menghubungkan roda depan dengan *circle*.
- *Scarifier:* Perangkat tambahan di depan atau di belakang blade yang memiliki gigi baja untuk menghancurkan material keras.
- *Articulated Frame:* Engsel pada kerangka utama yang memungkinkan alat mematahkan bodinya untuk manuver di radius putar yang sempit.



Gambar 7.2 Anatomi Mekanis Motor Grader Modern

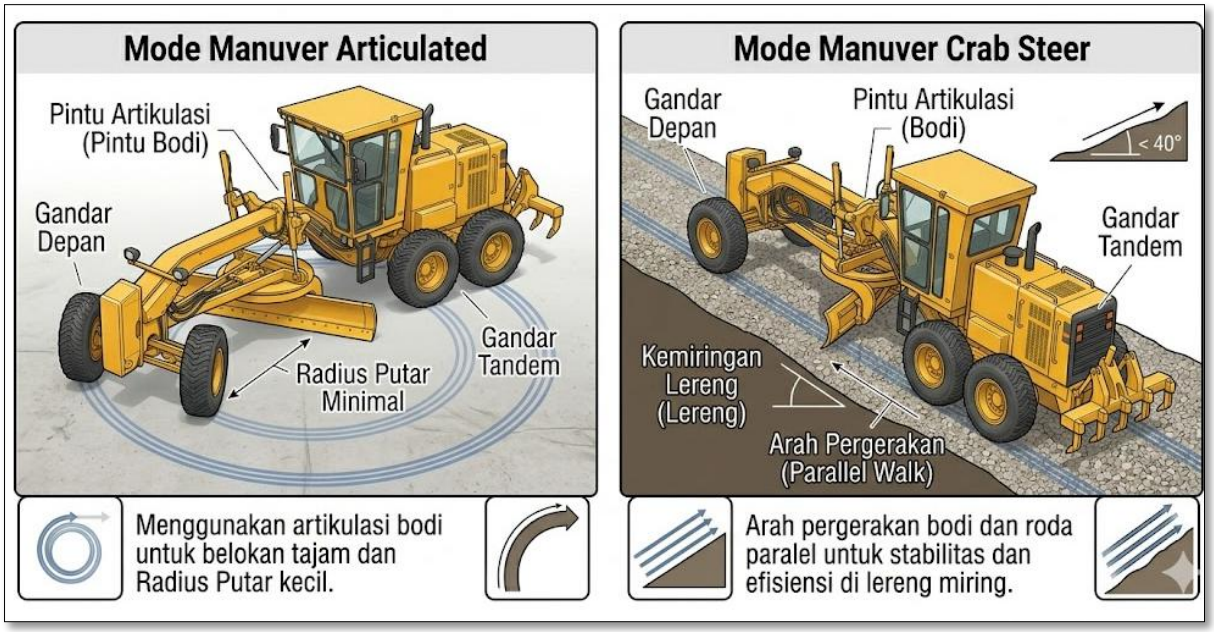
7.4 MEKANIKA GERAK DAN KONTROL BLADE

Fleksibilitas motor grader ditentukan oleh kemampuan pengaturan posisi *blade*-nya:

1. *Blade Tilt* (Kemiringan Vertikal): Mengatur sudut potong blade terhadap tanah. Sudut tajam untuk memotong material keras, sudut landai untuk meratakan.
2. *Blade Angling* (Sudut Horizontal)**:** Mengatur arah pembuangan material (ke kiri atau ke kanan).
3. *Circle Turn:* Memungkinkan blade bekerja dalam kondisi maju maupun mundur.

Motor grader modern juga dilengkapi dengan *Articulated Steering* yang memungkinkan tiga mode gerak:

- *Straight Frame:* Gerak lurus standar.
- *Articulated Turn:* Membelok dengan radius kecil menggunakan engsel bodi.
- *Crab Steer (Gaya Kepiting):* Roda depan dan belakang berada pada jalur yang berbeda, sangat berguna untuk mencegah alat tergelincir saat mengerjakan kemiringan tebing (*slope*).



Gambar 7.3 Mode Manuver Articulated vs. Crab Steer

7.5 ANALISIS PRODUKTIVITAS ENGINEERING

Produktivitas motor grader dihitung berdasarkan luas area yang dapat diselesaikan per jam atau waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan jarak tertentu.

1. Perhitungan Luas Operasi Per Jam

   $Q = V \times (L_c - L_o) \times 1.000 \times E$

   Di mana:

   Q = Hasil produksi $(\mathrm{m}^2/\mathrm{jam})$.

   V = Kecepatan kerja $(\mathrm{km/jam})$.

   L_e = Panjang blade efektif (m).

   L_o = Lebar tumang tindih (overlap) (m).

E = Efisiensi kerja total.

2. Perhitungan Waktu untuk Perapihan

$$T = \frac{N \times D}{V \times E}$$

Dimana:

T = Waktu Kerja (jam)

N = Jumlah ritase/trip yang diperlukan (Pass)

D = Jarak Kerja (km)

7.6 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Produktivitas Luas Perataan

Sebuah Motor Grader beroperasi dengan kecepatan rata-rata 4,5 km/jam. Panjang blade efektif adalah 3,2 m dengan lebar *overlap* antar lintasan sebesar 0,5 m. Jika efisiensi kerja adalah 0,80, berapakah luas area yang dapat diratakan dalam satu jam?

Jawaban:

$$Q = V \times (Le - Lo) \times 1000 \times E$$

$$Q = 4{,}5 \times (3{,}2 - 0{,}5) \times 1000 \times 0{,}80$$

$$Q = 4{,}5 \times 2{,}7 \times 800 = \mathbf{9.720\ m^2/jam}$$

Contoh Soal 2: Estimasi Waktu Perbaikan Jalan Angkut

Seorang *engineer* diminta menghitung waktu yang dibutuhkan grader untuk memperbaiki jalan angkut tambang sepanjang 6 km. Diperlukan 4 lintasan (*pass*) untuk mencapai kerataan yang diinginkan. Kecepatan rata-rata grader adalah 6 km/jam dengan efisiensi 0,75.

Jawaban:

$$T = \frac{N \times D}{V \times E}$$

$$T = \frac{4 \times 6}{6 \times 0{,}75} = \frac{24}{4{,}5} = \mathbf{5{,}33\ jam}$$

Contoh Soal 3: Penentuan Jumlah Trip (Pass)

Luas total lapangan yang harus diratakan adalah 40.000 m^2. Grader memiliki lebar efektif per lintasan 2,5 m dan harus mengerjakan area tersebut dalam waktu 8 jam kerja efektif. Hitung kecepatan minimal yang harus dijaga operator (asumsi E = 1,0).

Jawaban:

$$Q = \frac{40.000}{8} = 5.000\ \text{m}^2/\text{jam}$$

$$V = \frac{Q}{L_e \times 1.000} = \frac{5.000}{2{,}5 \times 1.000} = \mathbf{2\ km/jam}$$

Contoh Soal 4: Analisis Overlap terhadap Efisiensi

Jika pada soal nomor 1, operator meningkatkan *overlap* dari 0,5 m menjadi 1,0 m karena medan yang sulit, berapa persentase penurunan produktivitasnya?

Jawaban:

1. $Q = 9.720\ \text{m}^2/\text{jam}$ (dari soal 1).
2. $Q = 4{,}5 \times (3{,}2 - 1{,}0) \times 1.000 \times 0{,}80 = 7.920\ \text{m}^2/\text{jam}.$
3. Penurunan:
$$\frac{9.720 - 7.920}{9.720} \times 100\% = \mathbf{18{,}5}\ \%$$

Contoh Soal 5: Produksi Perataan Lapangan Sepak Bola

Sebuah lapangan ukuran 80' x 360' diratakan dengan 4 pass. *Grader* memiliki kecepatan 6 mph (528 fpm) dan efisiensi 80%. Hitung waktu total dalam menit.

Jawaban:

1. Jarak total: $D = 360$ feet. Jumlah trip:
$$N = \frac{\text{Lebar}}{\text{LebarBlade}} \times \text{Pass} = (\text{Sesuai Parameter Lapangan})$$
2. Menggunakan rumus waktu:
$$T = \frac{2 \times D \times N}{V \times E}$$

Hasil perhitungan standar: $\mathbf{68\ menit}$.

Contoh Soal 6: Kebutuhan Grader untuk Fleet Matching

Sebuah armada pemindahan tanah memindahkan 500 m^3/jam material tanah lepas (LCM) yang dihampar setebal 25 cm. Berapa luas area yang harus diratakan grader per jam agar tidak terjadi penumpukan material?

Jawaban:

1. Luas hamparan: $500/0{,}25 = 2.000\ \text{m}^2/\ \text{jam}.$
2. Jadi, *Grader* harus memiliki produktivitas minimal $\mathbf{2.000\ m^2/jam}$.

Contoh Soal 7: Biaya Operasional per m²

Jika biaya sewa Grader adalah Rp 600.000/jam dan produktivitasnya 8.000 m^2/jam, berapakah biaya perataan per meter persegi?

Jawaban:

$Biaya = Rp\ 600.000 : 8.000 = \text{Rp. } 75/\text{M}^2.$

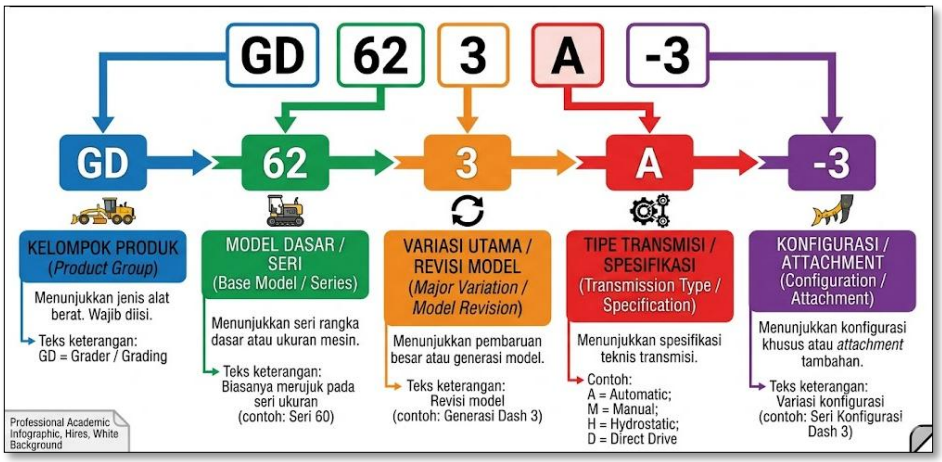
7.7 KESIMPULAN BAB 7

Motor grader adalah instrumen presisi dalam armada PTM. Kemampuannya untuk melakukan *finishing* jalan dan membentuk lereng menjadikannya alat yang tak tergantikan dalam konstruksi infrastruktur modern. Penguasaan terhadap variabel kecepatan kerja dan lebar efektif sangat krusial bagi seorang *engineer* untuk memastikan efisiensi biaya dan waktu pada tahap akhir proyek.

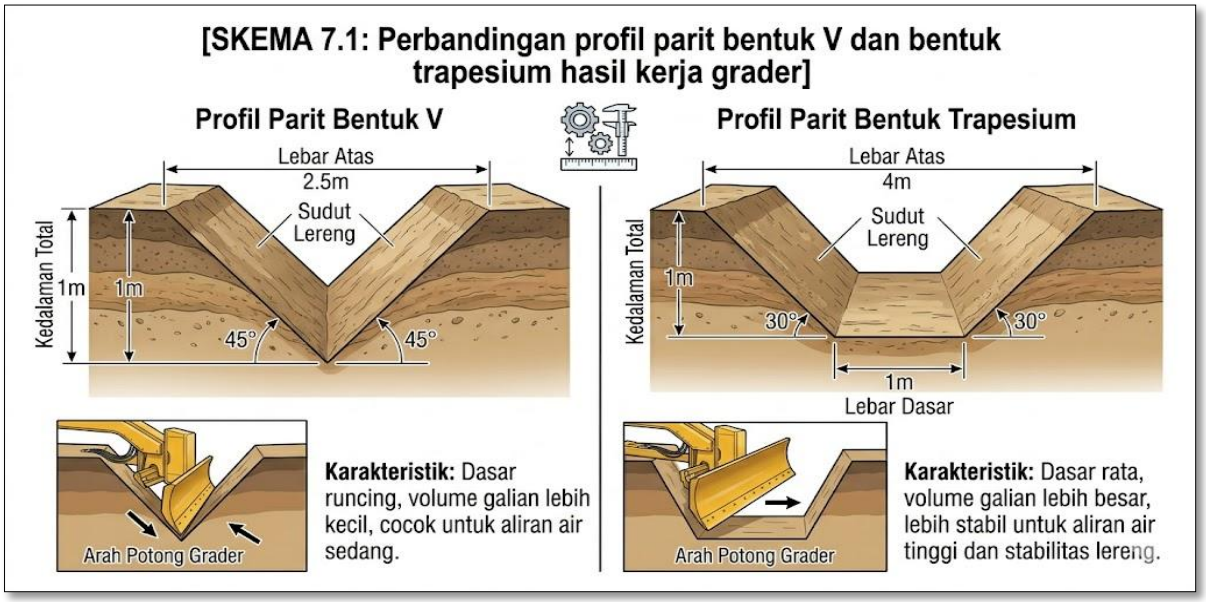
Lampiran Visual Bab 7 (Daftar Visual)



Gambar 7.4 Foto Operasional Motor Grader Melakukan Bank Shaping Pada Tebing Jalan



Gambar 7.5 Skema kode unit (misal: GD 62 3 A -3) untuk identifikasi ukuran dan spesifikasi transmisi



Gambar 7.6 Perbandingan Profil Parit Bentuk V Dan Bentuk Trapesium Hasil Kerja Grader

BAB 8
ALAT PEMADAT MEKANIS (COMPACTORS)

8.1 PENDAHULUAN DAN FILOSOFI PEMADATAN

Pemadatan (*compaction*) adalah suatu proses mekanis untuk mengatur kembali susunan butiran tanah agar menjadi lebih rapat, yang dilakukan dengan cara mengeluarkan rongga udara dari dalam pori-pori tanah. Dalam rekayasa infrastruktur, pemadatan merupakan tahapan krusial yang bertujuan untuk:

1. Meningkatkan daya dukung tanah (*bearing capacity*) agar mampu menahan beban konstruksi di atasnya.
2. Mengurangi penurunan (*settlement*) yang tidak diinginkan akibat konsolidasi alami.
3. Meningkatkan stabilitas timbunan dan mencegah terjadinya retak atau longsor pada lereng jalan atau bendungan.
4. Menurunkan permeabilitas tanah guna meminimalkan rembesan air yang dapat merusak struktur tanah.

8.2 MEKANISME KERJA ALAT PEMADAT

Tugas pokok alat pemadat atau *roller* adalah membuat tanah menjadi padat dan stabil secara merata melalui gerakan maju dan mundur. Efektivitas pemadatan sangat dipengaruhi oleh empat faktor utama:

- Tekanan Statis: Berat unit itu sendiri yang menekan permukaan tanah.
- Dampakan/Impact: Gaya jatuh atau pukulan pada permukaan.
- Manipulasi/Kneading: Efek "meremas" material seperti yang dilakukan oleh roda ban karet.
- Vibrasi/Getaran: Penggunaan frekuensi tinggi untuk meruntuhkan gaya gesek antar butiran, sangat efektif pada tanah non-kohesif.

8.3 KLASIFIKASI DAN TIPOLOGI ALAT PEMADAT

Berdasarkan bentuk roda dan prinsip kerjanya, alat pemadat mekanis diklasifikasikan sebagai berikut:

8.3.1. Smooth Steel Rollers (Penggilas Besi Permukaan Halus)

Alat ini memiliki drum baja silindris yang rata. Terbagi menjadi dua jenis utama:

- *Three Wheel Roller*: Memiliki tiga roda baja (dua di belakang, satu di depan). Sangat ideal untuk memadatkan material berbutir kasar dan lapisan pondasi bawah (*sub-base*). Untuk menambah beban, roda silinder dapat diisi dengan air atau pasir guna meningkatkan berat hingga 15% - 35%.
- *Tandem Roller*: Menggunakan dua drum baja sejajar. Umumnya digunakan untuk pemadatan akhir (*finishing*) pada lapisan aspal beton agar permukaan rata dan halus.

8.3.2. Pneumatic Tire Roller (PTR)

Alat ini menggunakan roda ban karet yang dipompa. Ciri khasnya adalah adanya *kneading effect* (efek meremas), di mana air dan udara di tepi ban ditekan keluar sehingga material menjadi sangat rapat. PTR sangat fleksibel dan digunakan pada pemadatan material granular maupun lapisan aus aspal.

8.3.3. Sheep Foot Type Roller (Mesin Gilas Kaki Kambing)

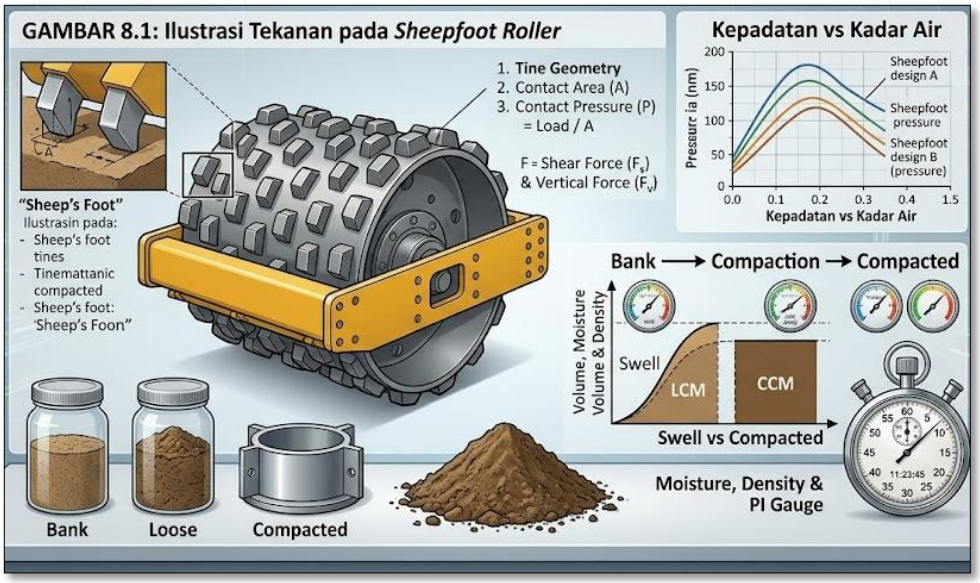
Memiliki drum baja yang permukaannya dilengkapi dengan tonjolan-tonjolan besi (kaki). Prinsip kerjanya adalah memberikan tekanan tinggi pada area sempit sehingga kaki-kaki tersebut masuk ke dalam tanah dan memberikan efek pemadatan dari bawah ke atas (*compacting from the bottom up*). Alat ini sangat cocok untuk tanah lempung atau tanah kohesif.

8.3.4. Vibratory Roller (Penggilas Getar)

Alat ini dilengkapi dengan penggetar mekanis pada drumnya. Getaran ini sangat efektif untuk memadatkan tanah pasir dan kerikil karena dapat mencapai penetrasi pemadatan yang dalam dibandingkan metode statis.

8.3.5. Segment dan Mesh Grid Roller

- *Segment Roller:* Memiliki roda berbentuk lempengan baja, cocok untuk tanah liat basah karena mampu mampatkan bagian bawah secara langsung.
- *Mesh Grid Roller:* Memiliki roda berbentuk anyaman, digunakan untuk menghancurkan dan meratakan tanah yang bercampur bebatuan.



Gambar 8.1 Ilustrasi Tekanan pada Sheepfoor Roller

8.4 ANALISIS TEKNIK DAN PENGENDALIAN MUTU

Dalam praktik lapangan, pemadatan dilakukan secara bertahap lapis demi lapis (*layer by layer*) dengan ketebalan tiap lapis umumnya berkisar antara 20-30 cm. Keberhasilan pemadatan dipantau melalui pengujian lapangan seperti:

1. *Sand Cone Test*: Menentukan kepadatan kering di lapangan.

2. *Nuclear Density Test*: Menggunakan alat berbasis radiasi untuk pengecekan cepat secara *real-time*.
3. *Optimum Moisture Content (OMC)*: Pemadatan harus dilakukan pada kadar air yang tepat agar mencapai kepadatan maksimal.

8.5 ANALISIS PRODUKTIVITAS ENGINEERING

Produktivitas alat pemadat dihitung berdasarkan luas operasi per jam (Q_B) atau volume tanah padat per jam (Q_A).

Rumus Dasar:

$$Q_A = \frac{W \times H \times V \times 1.000 \times E}{N}$$

Di mana:

Q_A = Hasil produksi $(\mathrm{m}^3/\mathrm{jam})$.
W = Lebar pemadatan efektif (lebar drum dikurangi overlap) (m).
H = Tebal pemadatan per lapis (m).
V = Kecepatan operasi $(\mathrm{km/jam})$.
E = Efisiensi kerja total.
N = Jumlah lintasan (pass) yang diperlukan untuk mencapai kepadatan target.

8.6 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Produktivitas Volume PTR 10 Ton

Tentukan produksi pemadatan *Pneumatic Tire Roller* (PTR) 10 Ton dengan lebar efektif 1,8 m, tebal lapisan 10 cm (0,1 m), diperlukan 4 *passing*, kecepatan kerja 11 km/jam, dan efisiensi kerja 0,75.

Jawaban:

$$Q_A = \frac{W \times V \times H \times 1.000 \times E}{N}$$

$$Q_A = \frac{1{,}8 \times 11 \times 0{,}1 \times 1.000 \times 0{,}75}{4} = \frac{1.485}{4} = \mathbf{371{,}25\ m^3/Jam}$$

Contoh Soal 2: Produktivitas Luas Tandem Roller

Sebuah Tandem Roller meratakan aspal dengan kecepatan 4 km/jam dan lebar drum efektif 1,5 m. Diperlukan 6 lintasan untuk hasil maksimal. Efisiensi kerja 0,80. Hitung hasil produksi dalam m²/jam.

Jawaban:

$$Q_B = \frac{W \times V \times 1.000 \times E}{N}$$

$$Q_B = \frac{1{,}5 \times 4 \times 1.000 \times 0{,}80}{6} = \frac{4.800}{6} = \mathbf{800\ m^2/jam}$$

Contoh Soal 3: Kebutuhan Jumlah Pass (N)

Sebuah proyek menargetkan produksi pemadatan sebesar 200 m^3/jam. Alat yang digunakan memiliki lebar efektif 2 m, kecepatan 5 km/jam, tebal lapis 0,2 m, dan efisiensi 1,0. Berapakah jumlah *pass* maksimal agar target tercapai?

Jawaban:

$$N = \frac{W \times V \times H \times 1.000 \times E}{Q_A} = \frac{2 \times 5 \times 0{,}2 \times 1.000 \times 1{,}0}{200} = \frac{2.000}{200} = \mathbf{10\ Pass}$$

Contoh Soal 4: Analisis Efisiensi Waktu

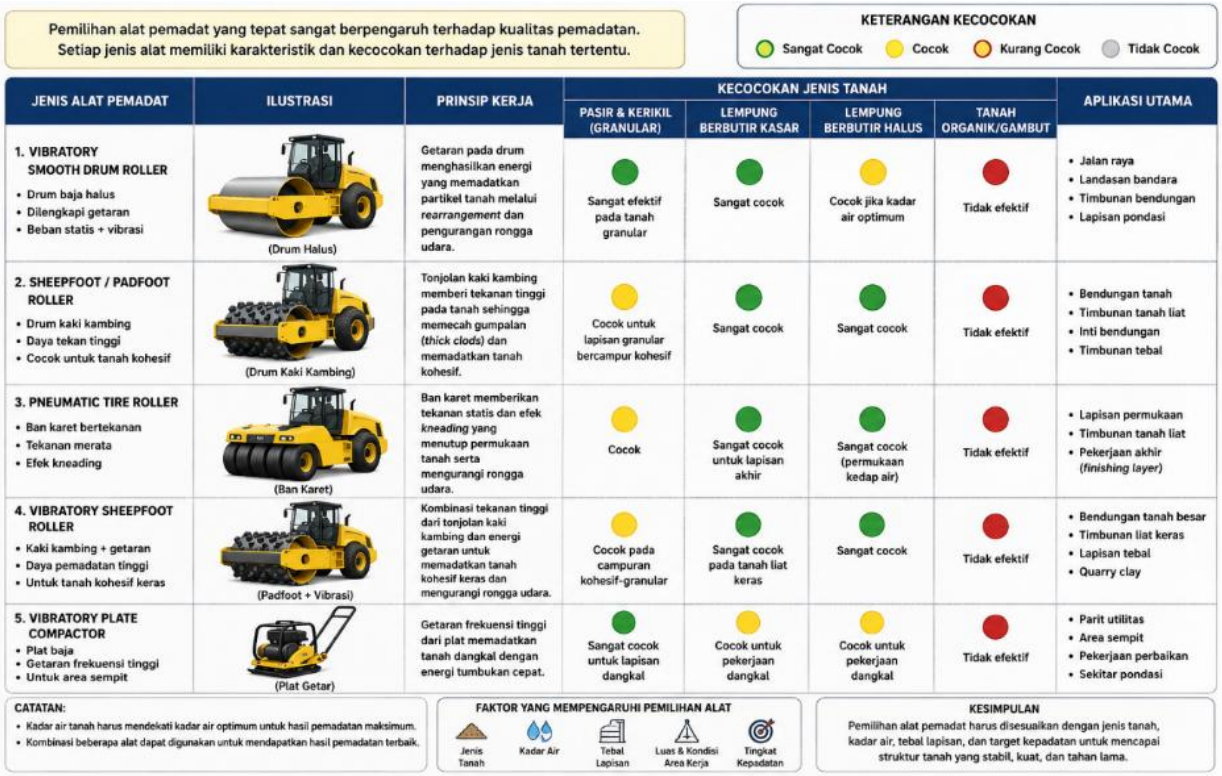
Jika alat pemadat pada soal nomor 1 hanya bekerja efektif selama 45 menit per jam, berapakah penurunan produktivitasnya?

Jawaban:

1. Efisiensi awal: $E = 1{,}0$ (asumsi basis jam penuh).
2. Efisiensi baru: $45/60 = 0{,}75$.
3. Produktivitas akan turun sebesar 25%.

8.7 KESIMPULAN BAB 8

Alat pemadat mekanis memegang peranan vital dalam menjamin kualitas akhir konstruksi sipil. Pemilihan jenis alat harus disesuaikan secara presisi dengan karakteristik tanah: *Vibratory* untuk pasir, *Sheepfoot* untuk lempung, dan *PTR* untuk aspal. Pemahaman terhadap variabel teknis seperti jumlah lintasan dan kadar air optimum sangat menentukan efisiensi armada PTM di lapangan.



Gambar 8.2 Klasifikasi Alat Pemadat dan Kecocokan Jenis Tanah

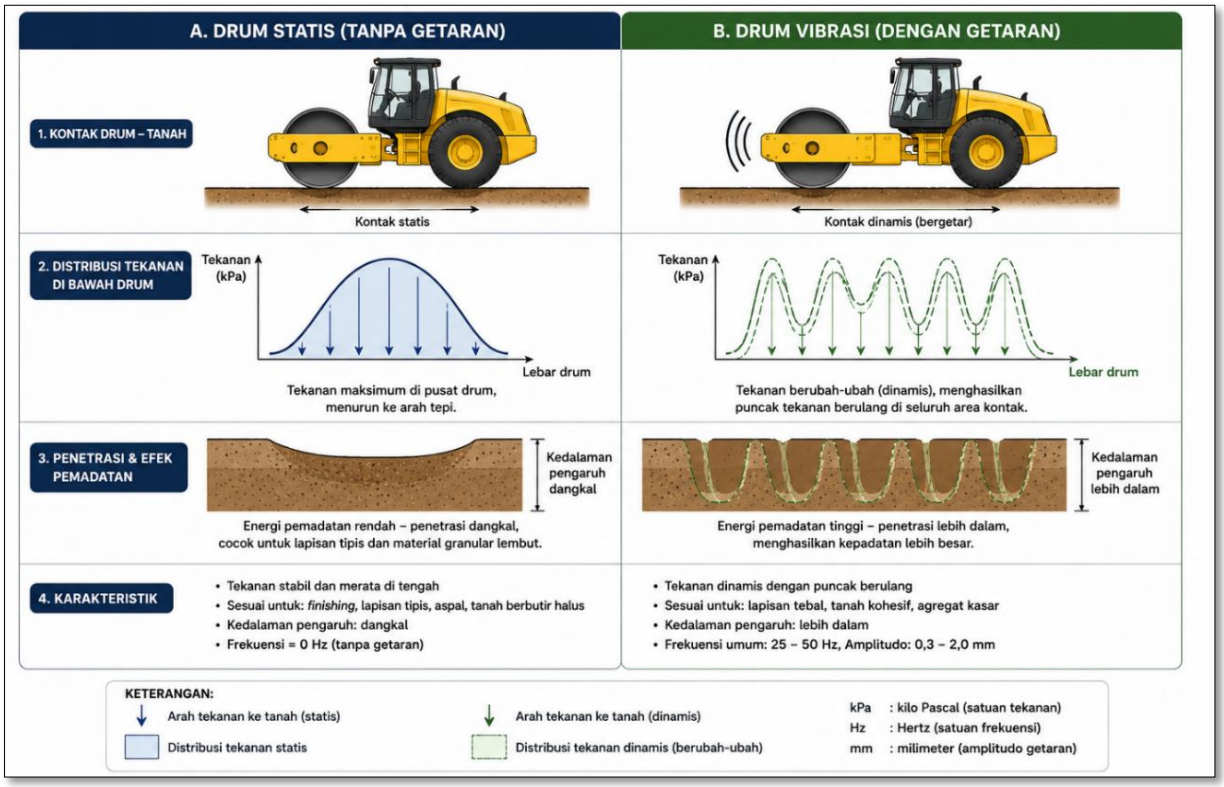


Keterangan:

- **Vibratory Roller** digunakan untuk pemadatan lapisan *aggregate base course*.
- Drum baja bergetar menghasilkan energi dinamis untuk meningkatkan kepadatan.
- Operasi dilakukan secara bertahap (*pass*) hingga mencapai kepadatan yang disyaratkan.

Lokasi Proyek	: Pembangunan Jalan Kolektor
Lapisan	: Base Course (LPA Kelas A)
Alat	: Vibratory Smooth Drum Roller (10–12 ton)
Kondisi Material	: Agregat batu pecah

Gambar 8.3 Foto Operasional Vibratory Roller



Gambar 8. 4 Diagram Distribusi Tekanan Drum Statis vs Drum Vibrasi

Target Kepadatan (berdasarkan Proctor)	Jenis Tanah / Material	Jumlah Lintasan (Pass)			
		Vibratory Smooth Drum Roller (8 – 12 ton)	Vibratory Smooth Drum Roller (12 – 20 ton)	Vibratory Padfoot Drum Roller (12 – 20 ton)	Pneumatic Tire Roller (20 – 30 ton)
90 – 92 % dari MDD	• Pasir bergradasi baik • Kerikil berpasir • Tanah granular non kohesif	4 – 6	3 – 5	6 – 8	6 – 8
93 – 95 % dari MDD	• Pasir berlanau • Gravel berlanau • Tanah berbutir halus (ML)	6 – 8	5 – 7	8 – 10	8 – 12
96 – 98 % dari MDD	• Lempung berpasir (CL) • Lempung berlanau (CL – ML) • Tanah kohesif sedang	8 – 12	6 – 10	10 – 14	12 – 16
≥ 98 % dari MDD	• Lempung kohesif tinggi (CH) • Tanah ekspansif • Timbunan inti bendungan	12 – 18	10 – 16	14 – 20	16 – 24

Catatan:

1. Jumlah lintasan bersifat indikatif dan dapat bervariasi sesuai kondisi material, kadar air, tebal lapisan, dan tipe alat.
2. Setiap lintasan terdiri dari satu arah maju dan satu arah balik pada jalur yang sama.
3. Pastikan kadar air material berada pada rentang optimum (OMC ± 2%).
4. Lakukan uji kepadatan lapangan secara berkala untuk verifikasi hasil.

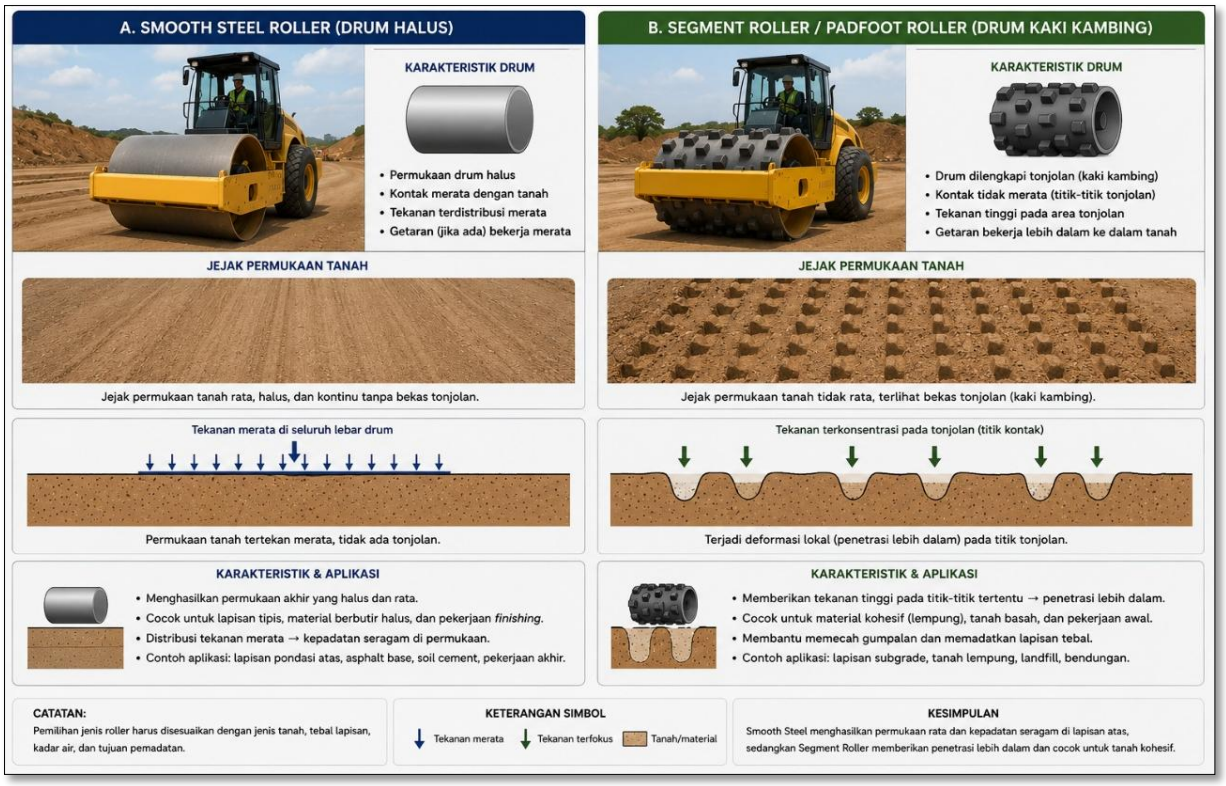
Keterangan:

MDD = Maximum Dry Density (kepadatan kering maksimum) dari uji Proctor
ML = Silt (lanau)
CL = Lean Clay – Clay of Low Plasticity (lempung plastisitas rendah)
CH = Fat Clay – Clay of High Plasticity (lempung plastisitas tinggi)

Gambar 8.5 Standar Jumlah Lintasan Berdasarkan Target Kepadatan Proctor



Gambar 8.6 Penggunaan Teknologi Intelligent Compaction



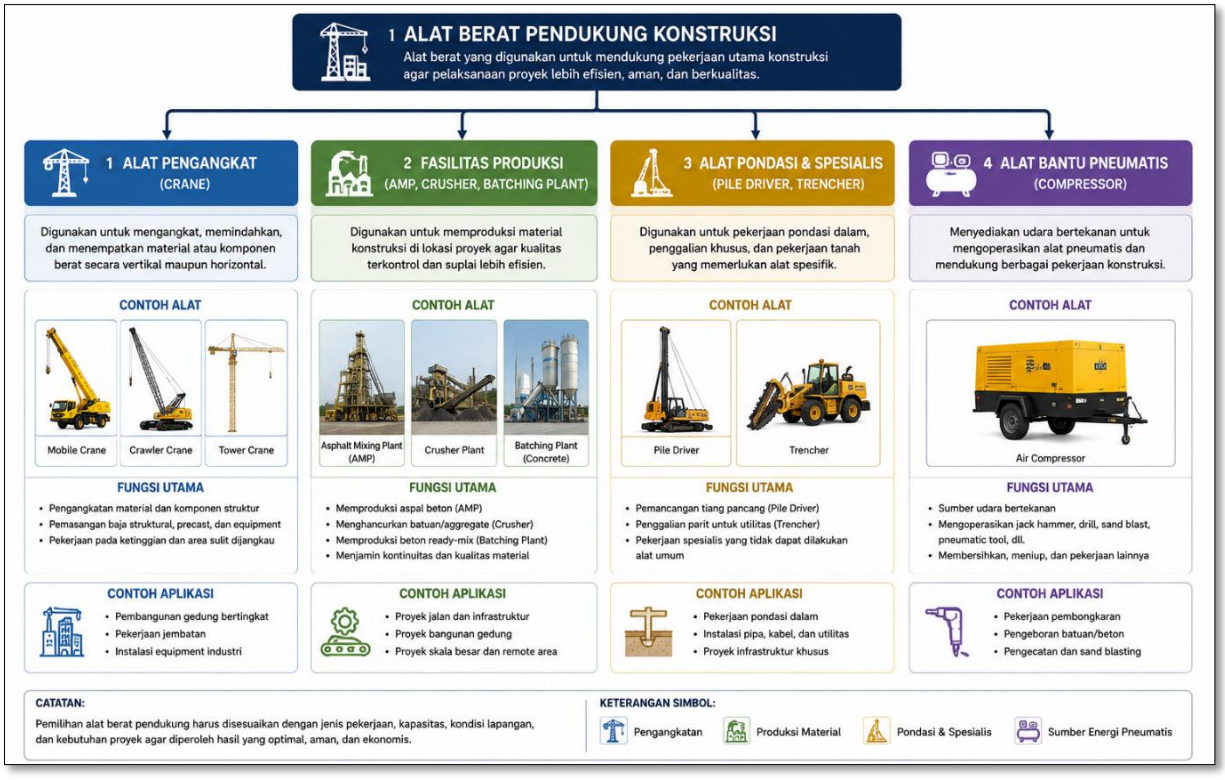
Gambar 8.7 Perbedaan Jejak Permukaan Tanah *Smooth Steel* dan *Segment Roller*

BAB 9
ALAT BERAT KHUSUS DAN PENDUKUNG KONSTRUKSI

9.1 PENDAHULUAN

Dalam manajemen proyek konstruksi modern, produktivitas tidak hanya bergantung pada unit penggali dan penggusur utama. Kompleksitas proyek infrastruktur menuntut penggunaan alat berat khusus yang memiliki fungsi spesifik untuk mendukung operasional di lapangan. Kelompok alat ini mencakup peralatan pengangkat, mesin penggali parit kontinu, hingga fasilitas produksi material seperti beton dan aspal yang dioperasikan langsung di lokasi proyek guna menjamin suplai material yang efisien.

Alat pendukung ini diklasifikasikan sebagai unit selain kelompok traktor dan ekskavator konvensional, yang mencakup alat pemadat, alat pengangkut jarak sedang-jauh, alat pemecah batu (*crusher*), serta fasilitas pencampur material (*plant*).



Gambar 9.1 Klasifikasi Alat Berat Pendukung Konstruksi

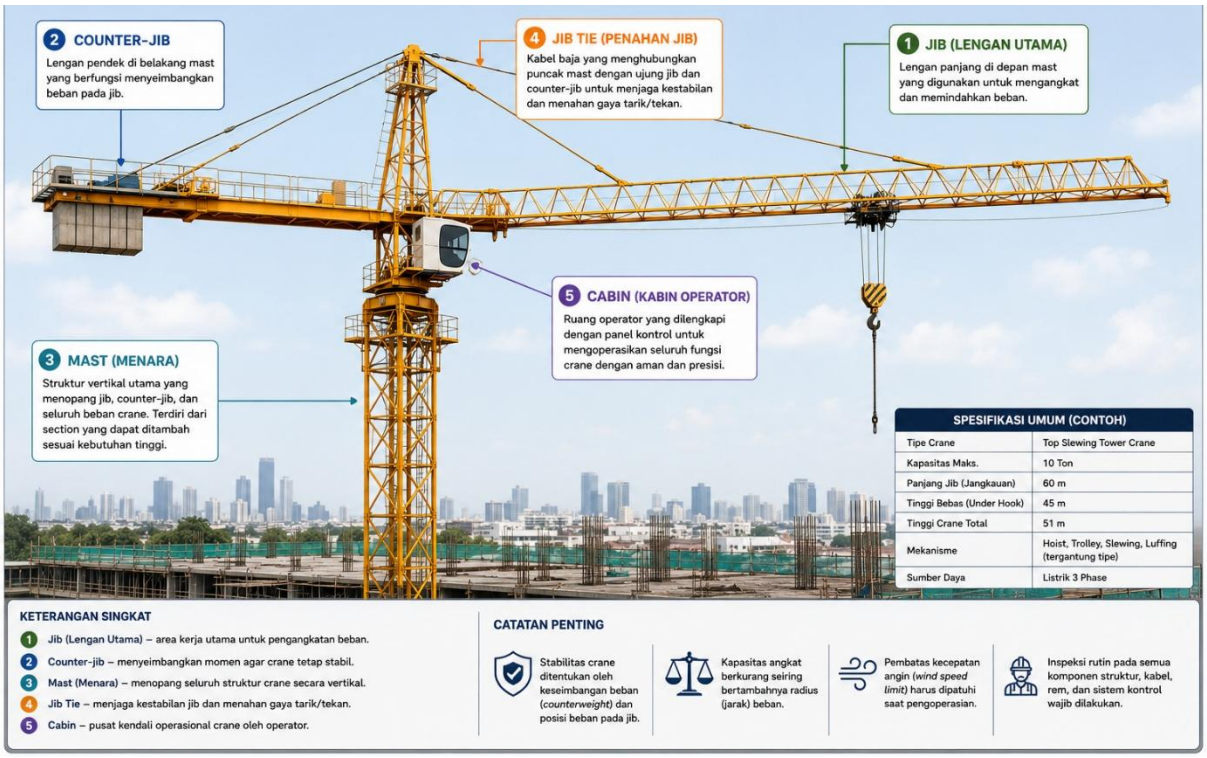
9.2 ALAT PENGANGKAT (*LIFTING EQUIPMENT*)

9.2.1. Crane (Derek Pembangunan)

Crane adalah jenis alat berat yang menggunakan mekanisme kabel (*wire rope*), katrol, dan lengan (*boom*) untuk mengangkat, menarik, dan menempatkan material berat ke posisi yang dikehendaki, baik secara vertikal maupun horizontal.

Varian Utama Crane:

1. *Truck Crane*: Dipasang di atas truk untuk mobilitas tinggi antar lokasi proyek.
2. *Crawler Crane*: Menggunakan roda rantai, memberikan stabilitas maksimal pada medan proyek yang belum rata.
3. *Tower Crane:* Digunakan secara eksklusif pada proyek gedung bertingkat tinggi untuk pengangkatan vertikal material struktur.
4. *Truck Loader Crane*: Derek kecil yang dipasang pada truk pengangkut untuk mempermudah pemuatan mandiri.



Gambar 9.2 Anatomi Tower Crane Modern

9.3 PERALATAN PENGGALI KONTINU DAN SPESIALIS

9.3.1. Trencher (Penggali Parit)

Trencher digunakan untuk menggali saluran drainase atau jalur kabel/pipa bawah tanah secara terus-menerus. Berbeda dengan ekskavator yang bekerja secara siklus (*swing*), trencher bekerja secara kontinu menggunakan roda atau rantai pemotong.

9.3.2. Feller Bunchers

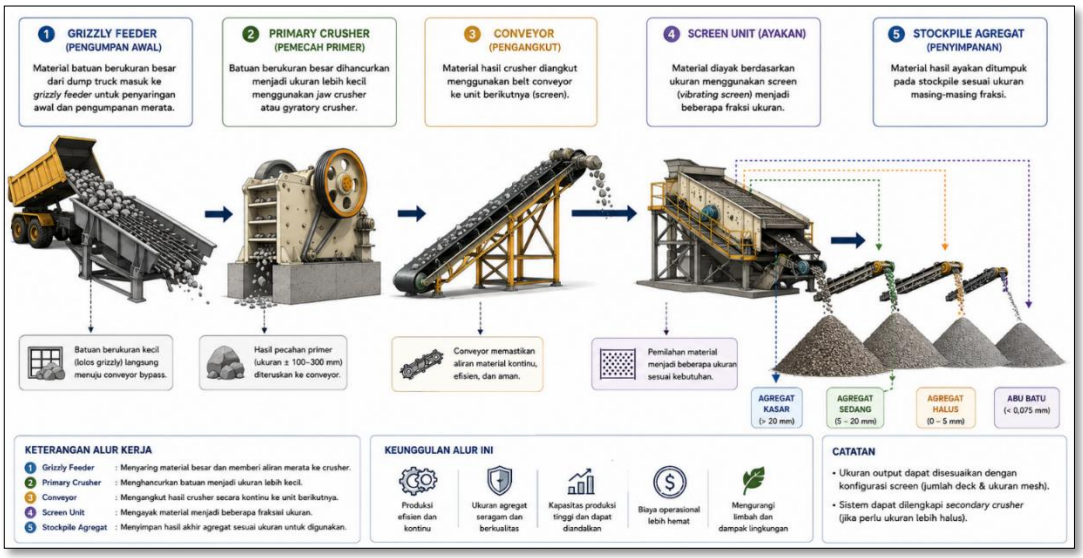
Alat ini digunakan khusus dalam tahap *land clearing* skala besar untuk menebang pohon, mengambilnya tanpa menjatuhkannya, dan mengumpulkannya di satu lokasi guna memudahkan kerja *loader* dan *dump truck*.



Gambar 9.3 Operasi Trencher Rantai

9.4 FASILITAS PEMROSES MATERIAL *(PROCESSING PLANT)*

9.4.1. Stone Crusher (Unit Pemecah Batu)



Gambar 9.4 Alur Kerja Stone Crusher Plant

Berfungsi memproses batuan mentah dari *quarry* menjadi agregat dengan gradasi tertentu yang memenuhi syarat teknis pembangunan jalan atau bendungan.

Mekanisme Pemecahan:

- *Jaw Crusher*: Menggunakan sistem rahang untuk menghancurkan batu besar di tahap primer.

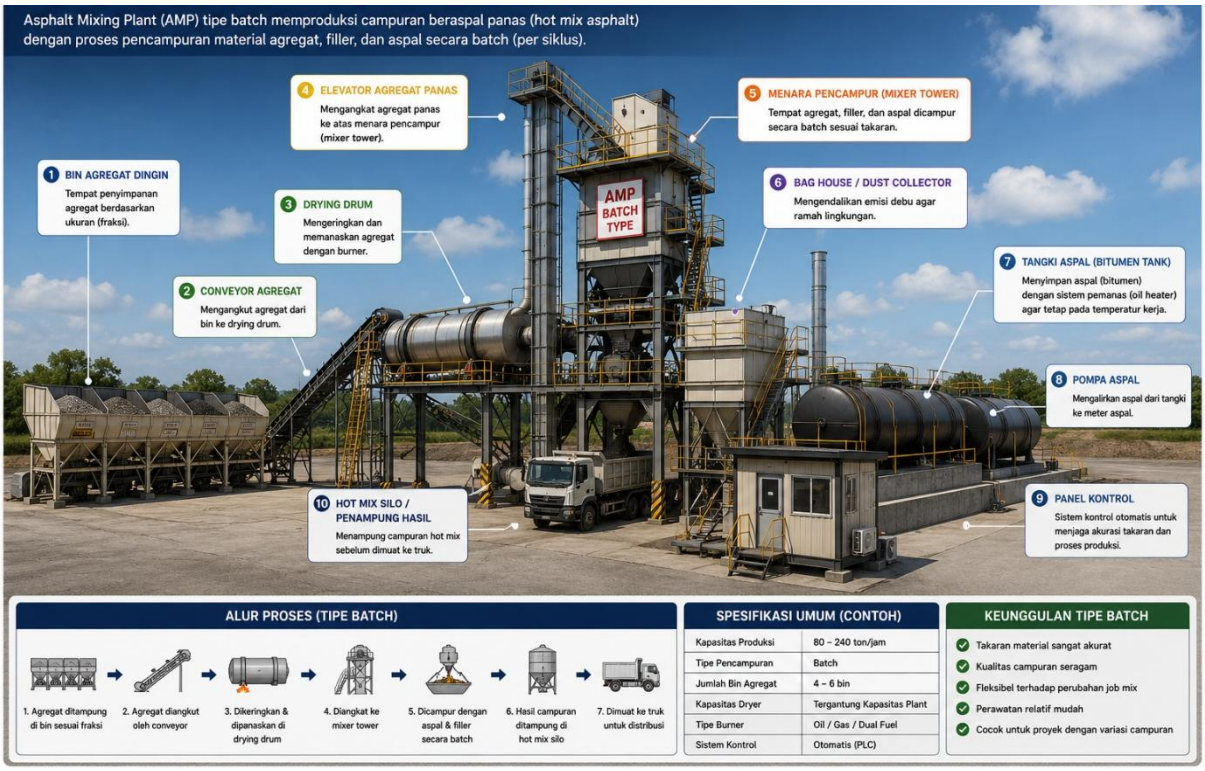
- *Roll Crusher:* Menggunakan dua silinder yang berputar berlawanan untuk menggilas material.
- *Impact Crusher:* Menghancurkan batu dengan sistem pukul menggunakan palu berputar kecepatan tinggi.

9.4.2. Asphalt Mixing Plant (AMP)

AMP adalah pusat produksi beton aspal panas (*hot mix*). Proses produksinya melibatkan pengeringan agregat, penyaringan sesuai ukuran, dan pencampuran dengan aspal panas dalam suhu tinggi.

Komponen Penting AMP:

- *Aggregate Dryer* : Silinder panjang untuk mengeringkan agregat lembap.
- *Dust Collector* *:* Unit penyaring debu agar tidak mencemari lingkungan.
- *Pugmill Mixer* : Tempat pengadukan akhir agregat dengan aspal cair.

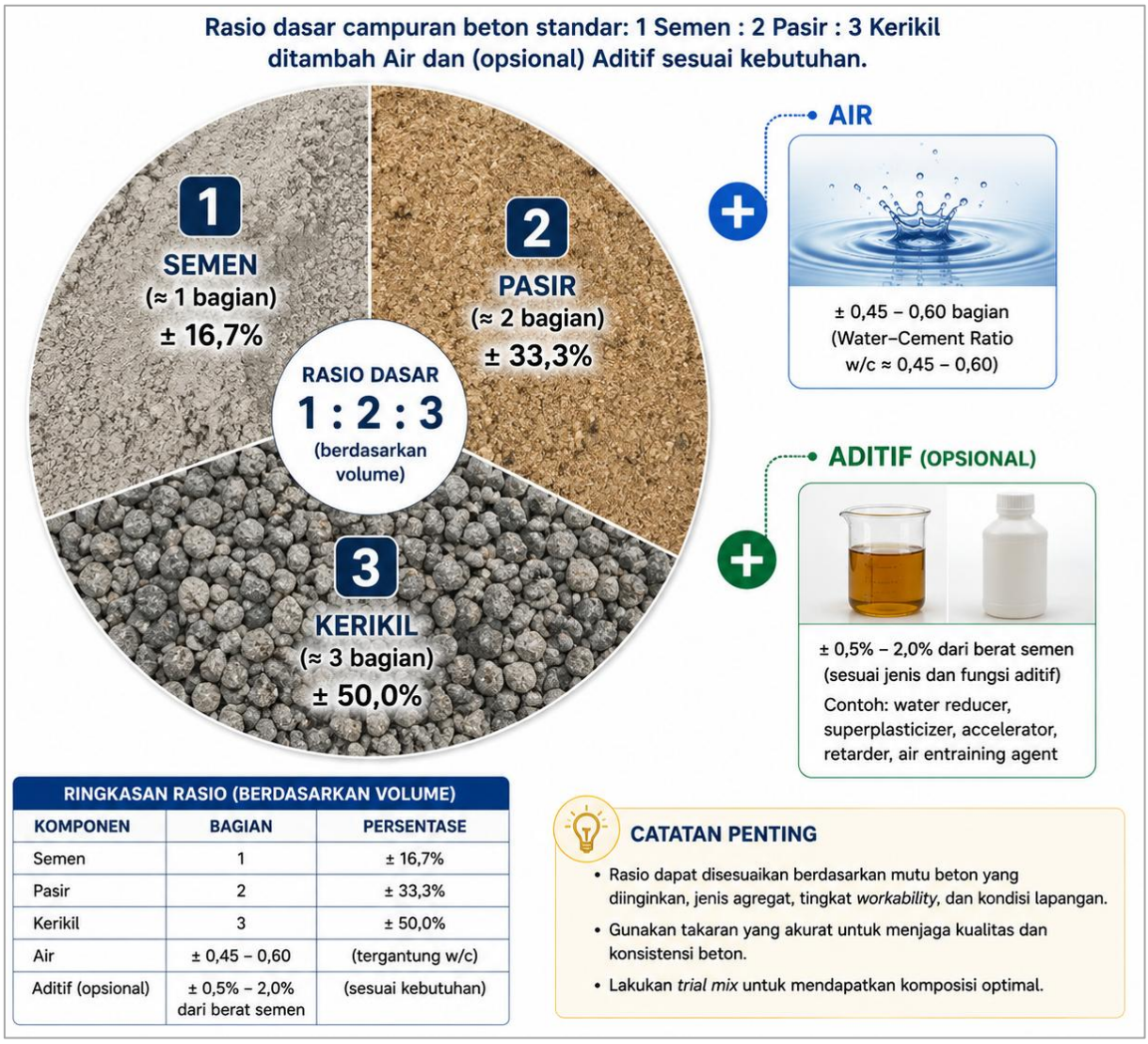


Gambar 9.5 Asphalt Mixing Plant Tipe Batch

9.5. PERALATAN PEMBUAT BETON

Pada proyek bervolume besar, beton diproduksi menggunakan *Concrete Batching and Mixing Plant.*

- *Concrete Mixer (Tilting Drum):* Silinder yang dapat miring untuk memudahkan pengeluaran campuran beton.
- *Batcher Equipment*: Wadah penakar yang menimbang material (semen, pasir, kerikil) secara presisi sebelum masuk ke mixer.
- *Concrete Pump*: Pompa khusus untuk menyalurkan beton segar melalui pipa menuju lokasi pengecoran yang tinggi atau sulit dijangkau.



Gambar 9.6 Komposisi Campuran Beton Standar

9.6 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Kapasitas Angkut Crane (Safety Factor)

Sebuah *Truck Crane* berdasarkan tabel beban (*load chart*) memiliki kapasitas aman maksimal sebesar 12 ton pada radius 10 meter. Di lapangan, beban yang akan diangkat adalah mesin seberat 9.000 kg. Hitunglah faktor keamanan (*Safety Factor*) pengangkatan tersebut.

Jawaban:

1. Ubah satuan ke kg: $12 \text{ ton} = 12.000 \text{ kg}$.
2. Formula: $\text{Safety Factor (SF)} = \frac{Kapasitas\ Aman}{Beban\ Riil}$
3. Safeti Factor $(\text{SF}) = \frac{12.000}{9.000} = \mathbf{1,33}$

Karena $\mathbf{SF > 1}$*, maka pengangkatan dinilai aman.*

Contoh Soal 2: Produktivitas Stone Crusher

Sebuah *Jaw Crusher* menerima *input* material sebesar 200 ton/jam. Jika efisiensi operasional plant adalah 80% karena faktor waktu tunggu truk dan perawatan rutin, berapakah produksi agregat bersih per jam?

Jawaban:

1. Formula: $Q_{bersih} = Q_{input} \times \text{Efisiensi}$
2. $Q_{bersih} = 200 \times 0{,}80 = \mathbf{160\ ton/jam}$

Contoh Soal 3: Kebutuhan Armada Transit Mixer

Proyek pengecoran jalan beton membutuhkan pasokan sebesar 35 m³ beton per jam. Jika satu truk *Transit Mixer* berkapasitas 7 m³ dan memiliki waktu siklus pulang-pergi dari *batching plant* selama 60 menit, berapa unit truk yang harus beroperasi?

Jawaban:

1. Kapasitas angkut 1 truk per jam: $(60\ \text{menit}/60\ \text{menit}) \times 7\ \text{m}^3 = \mathbf{7\ m^3/jam}$.
2. Jumlah Truk: $35\ \text{m}^3 / 7\ \text{m}^3 = \mathbf{5\ Unit}$

Contoh Soal 4: Efisiensi Dust Collector pada AMP

Sebuah unit *Dust Collector* pada AMP mampu menangkap debu dengan efisiensi 85%. Jika jumlah debu yang tertiup keluar dari *dryer* adalah 100 kg/jam, berapakah debu yang lolos ke udara terbuka?

Jawaban:

1. Debu tertangkap: $100 \times 0{,}85 = \mathbf{85\ kg/jam}$.
2. Debu lolos: $100 - 85 = \mathbf{15\ kg/jam}$

Contoh Soal 5: Kapasitas Batcher Equipment

Berdasarkan standar teknis, kapasitas minimal *batcher* harus 3 kali lebih besar dari kapasitas mixer dalam satu kali operasi. Jika mixer yang digunakan memiliki kapasitas 2 m³, berapakah kapasitas minimal kontainer *batcher*?

Jawaban:

1. Kapasitas Batcher $= 3 \times \text{Kapasitas Mixer}$
2. Kapasitas Batcher $= 3 \times 2 = 6\ \text{m}^3$

9.7 RANGKUMAN BAB 9

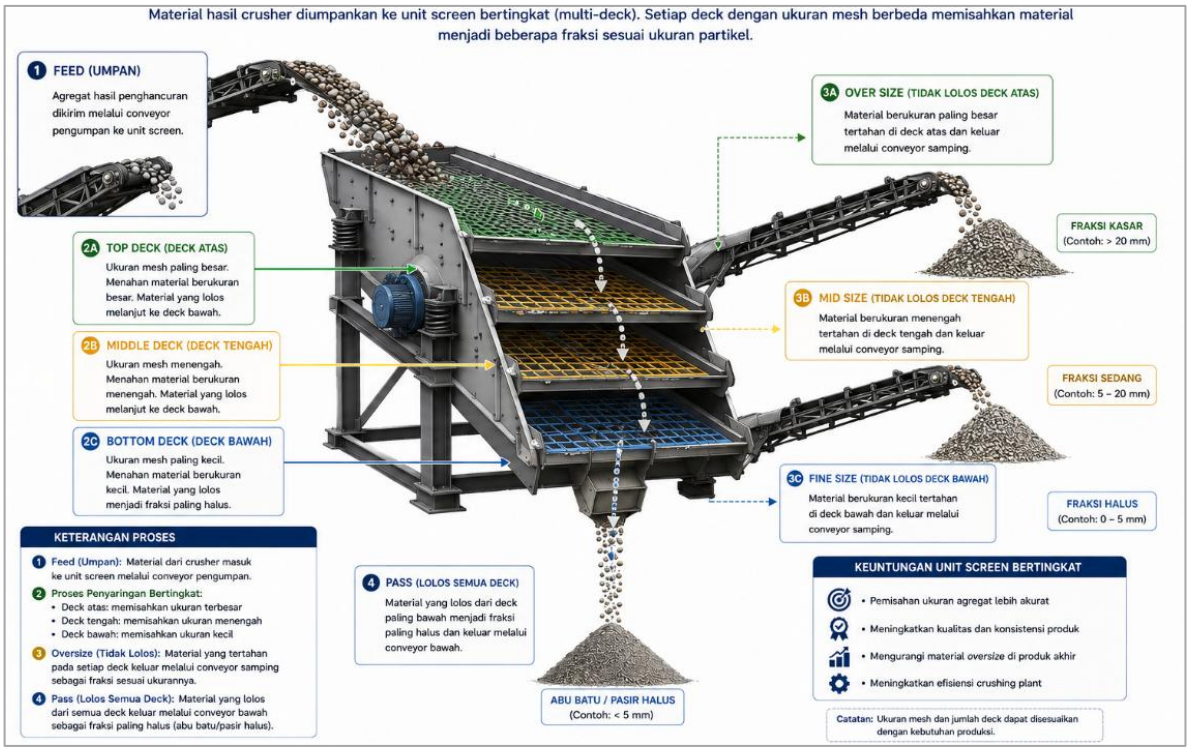
Alat berat khusus dan pendukung merupakan penentu keberhasilan pada tahap penyelesaian dan produksi material proyek. Penguasaan terhadap karakteristik crane, pemahaman alur produksi pada *stone crusher*, serta sinkronisasi armada pada pengolahan aspal (AMP) dan beton sangat krusial bagi seorang *engineer* untuk meminimalkan waktu tunggu (*idle*) dan mengoptimalkan biaya operasional.



Gambar 9.7 Mekanisme Penguncian Quick Coupler



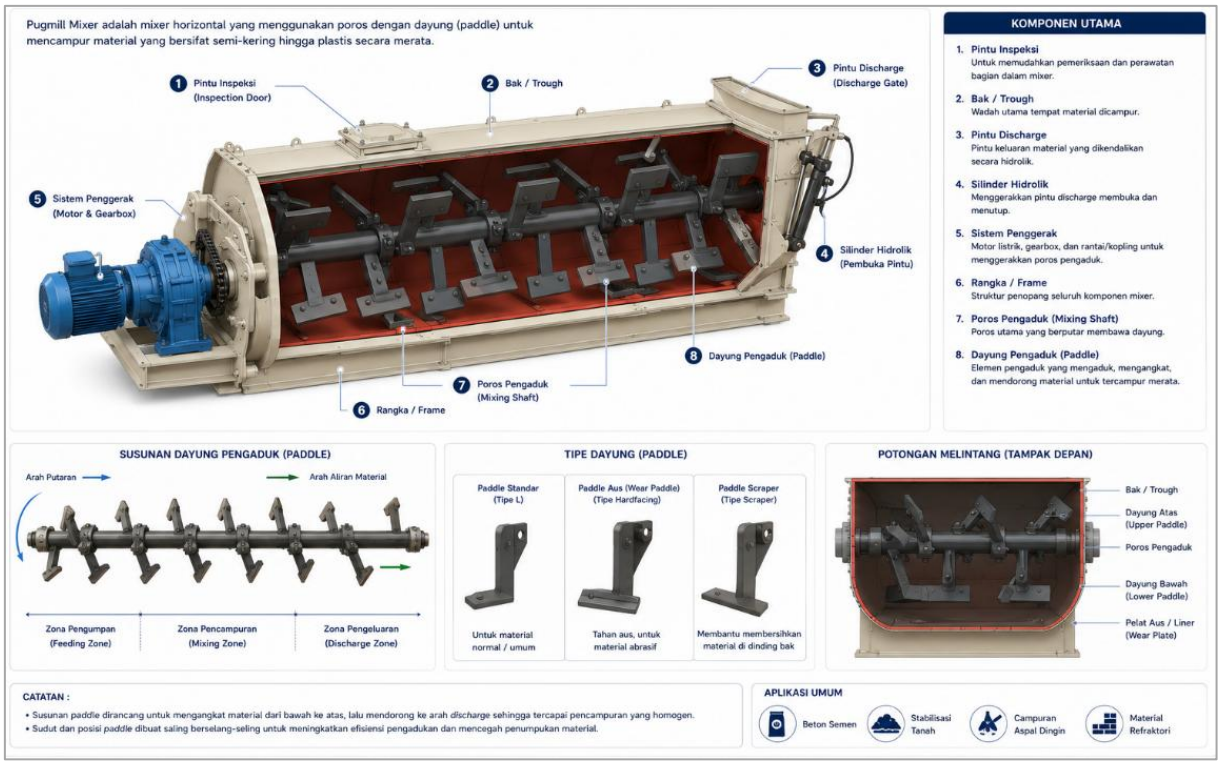
Gambar 9.8 Operasi Telehandler Mengangkat Palet Batu Bata ke Lantai 3 Gedung



Gambar 9.9 Diagram Proses Pemisahan Agregat Pada Unit Screen Bertingkat



Gambar 9.10 Penggunaan Bituminous Paver Yang menerima Aspal dari Dump Truck



Gambar 9.11 Komponen Internal Pugmill Mixer

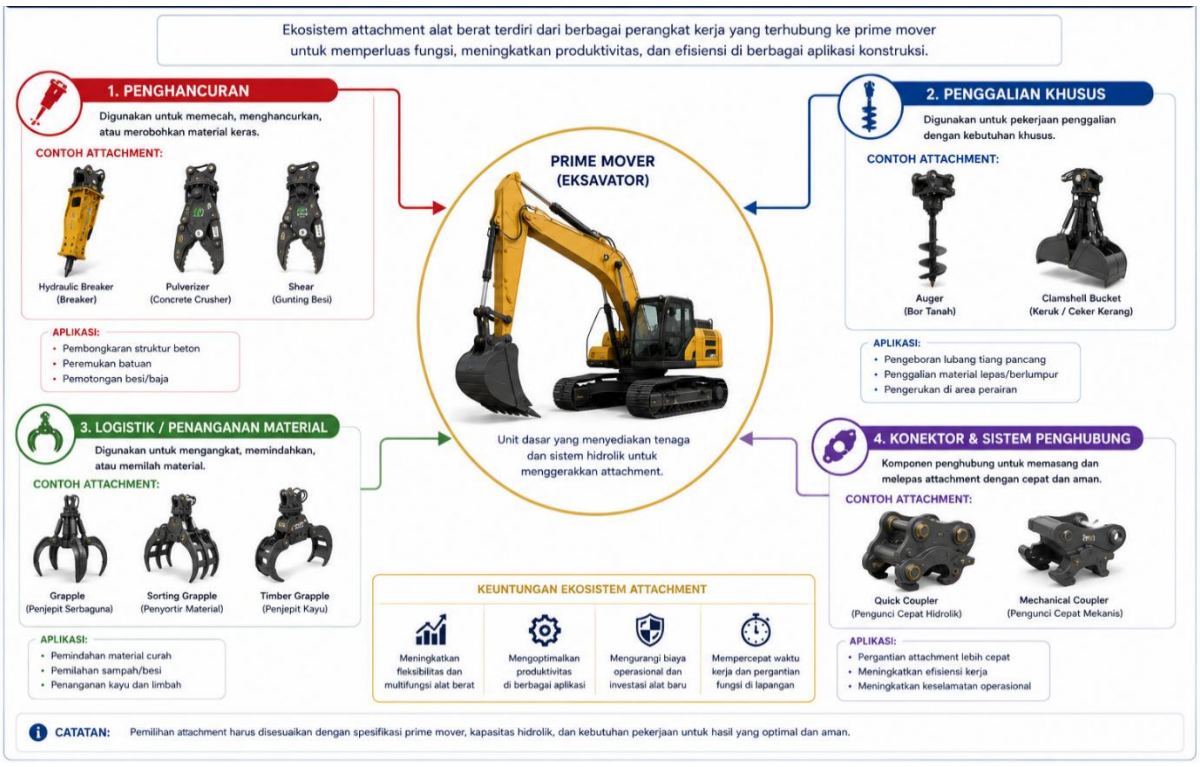
BAB 10
ATTACHMENT DAN INOVASI KOMPONEN ALAT BERAT

10.1 PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi alat berat dalam industri konstruksi modern tidak hanya berfokus pada peningkatan kapasitas daya kuda (*horsepower*) mesin, tetapi juga pada fleksibilitas fungsi alat. Salah satu lompatan besar dalam teknik pemindahan tanah mekanis adalah pemanfaatan *attachment* atau perlengkapan tambahan. Keberadaan attachment memungkinkan satu unit *prime mover* (penggerak utama) bertransformasi menjadi berbagai alat spesialis, sehingga meningkatkan efisiensi operasional dan menekan biaya investasi armada proyek.

10.2 FILOSOFI DAN PENGERTIAN ATTACHMENT

Attachment didefinisikan sebagai peralatan tambahan yang dipasang pada komponen kerja utama alat berat (seperti *boom, arm, blade,* atau *front linkage*) untuk memperluas fungsi operasionalnya. Dalam manajemen alat berat, attachment menjadi faktor penentu produktivitas karena alat yang dilengkapi perlengkapan tepat dapat mempercepat *cycle time* dan mengurangi kebutuhan unit tambahan di lapangan.



Gambar 10.1 Arsitektur Ekosistem Attachment Alat Berat

10.3 KLASIFIKASI ATTACHMENT BERDASARKAN UNIT UTAMA

10.3.1. Attachment pada Ekskavator Hidrolik

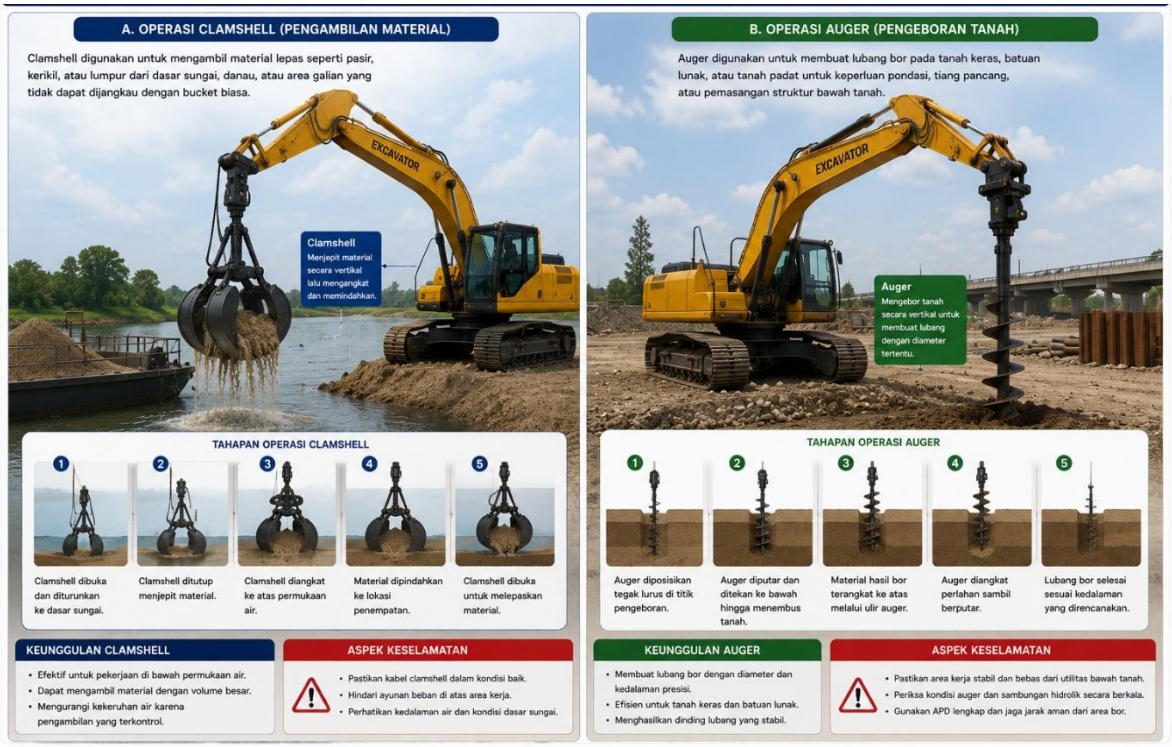
Ekskavator merupakan unit yang paling fleksibel dalam menerima berbagai jenis attachment:

1. *Buckets* (Berbagai Jenis): Mulai dari *Standard Bucket* untuk galian umum, *Ditch Cleaning Bucket* untuk pembersihan saluran, hingga *V-Bucket* untuk pembuatan parit presisi.
2. *Hydraulic Breaker*: Alat pemukul pneumatis/hidrolis yang digunakan untuk menghancurkan beton atau batuan keras.
3. *Clamshell*: Attachment menyerupai jepitan vertikal untuk pengerukan material lepas (*loose material*) atau pengerjaan di bawah air.
4. *Auger*: Bor spiral mekanis untuk pembuatan lubang pondasi *bored pile* atau penanaman tiang listrik.
5. *Grapple:* Alat penjepit untuk logistik kayu (*log grapple*) atau pekerjaan pembongkaran gedung (*demolition grapple*).

10.3.2. Attachment pada Bulldozer

Bulldozer mengandalkan attachment untuk pekerjaan persiapan lahan (*land clearing*):

- *Blade (Angle, Straight, Universal, Cushion*): Memengaruhi daya dorong dan arah pembuangan material.
- *Ripper* (Bajak): Terletak di bagian belakang untuk memberai tanah keras sebelum digusur.
- *Tree Pusher & Shear Blade*: Khusus untuk merobohkan pohon besar dan memotong batang kayu pada tahap awal proyek.



Gambar 10. 2 Visualisasi Operasi *Clamshell* dan *Auger*

10.4 *QUICK COUPLER*: REVOLUSI FLEKSIBILITAS

Quick Coupler merupakan inovasi komponen konektor yang memungkinkan pergantian attachment dilakukan dalam hitungan detik secara otomatis dari dalam kabin. Inovasi ini secara signifikan mengurangi *downtime* (waktu tunggu) operasional dan meningkatkan aspek keselamatan kerja karena operator tidak perlu melakukan pembongkaran pin manual yang berisiko tinggi.

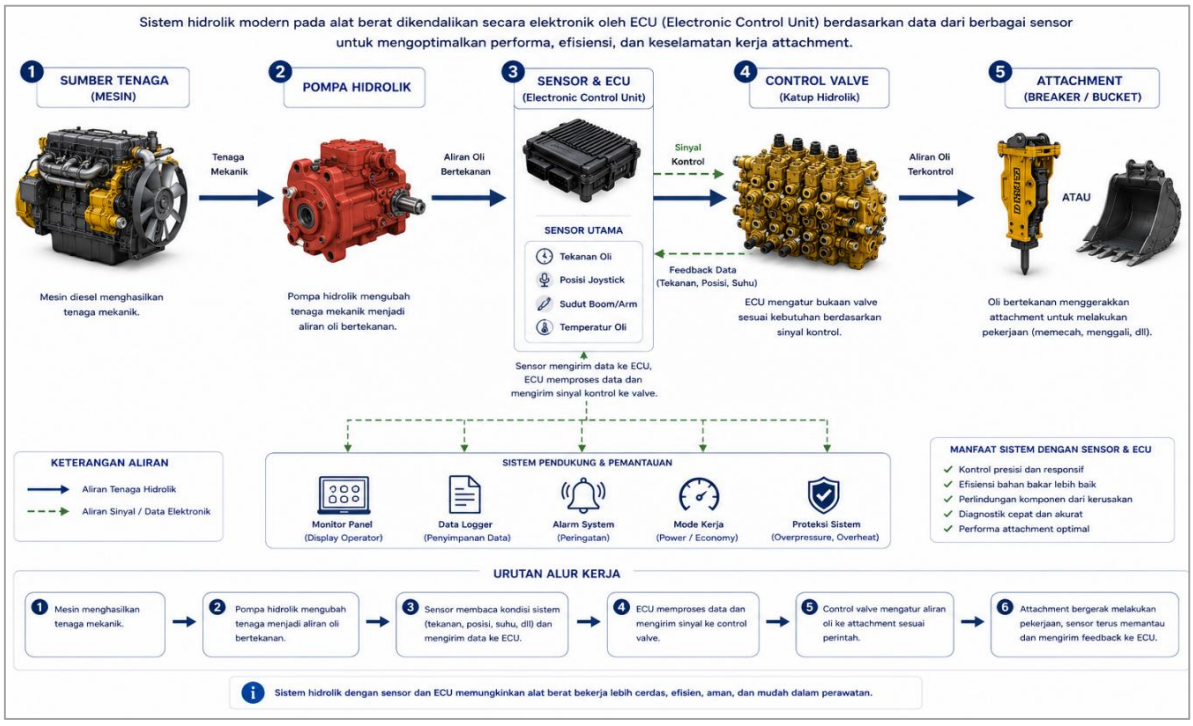
10.5 INOVASI KOMPONEN INTERNAL ALAT BERAT

10.5.1. Sistem Hidrolik dan Kontrol Digital

Sistem hidrolik modern berfungsi menghasilkan tenaga dan tekanan kerja tinggi melalui komponen seperti *hydraulic pump, cylinder,* dan *hose*. Inovasi terbaru mencakup penggunaan *Electronic Control Unit (ECU)* yang mengatur aliran oli secara presisi berdasarkan beban kerja, sehingga menghemat konsumsi bahan bakar hingga 15%.

10.5.2. Undercarriage (Penomba)

Sebagai komponen paling mahal pada alat bertipe *crawler*, inovasi *undercarriage* berfokus pada ketahanan terhadap medan berbatu dan abrasi. Penggunaan material baja tahan aus pada *track shoe* dan *roller* bertujuan memperpanjang masa pakai unit sebelum dilakukan penggantian komponen besar.



Gambar 10.3 Alur kerja Sistem Hidrolik dengan Sensor ECU

10.6 ANALISIS TEKNIK DAN PRODUKTIVITAS (CONTOH SOAL)

Contoh Soal 1: Produktivitas Ekskavator dengan Quick Coupler

Sebuah proyek galian memerlukan penggantian attachment dari *bucket* ke *breaker* sebanyak 4 kali sehari. Jika menggunakan pin manual, waktu ganti adalah 30 menit. Jika

menggunakan *Quick Coupler*, waktu ganti hanya 2 menit. Berapakah tambahan waktu produktif yang didapat dalam satu hari?

Jawaban:

1. Waktu pin manual: $4 \times 30 = 120$ menit.
2. Waktu *Quick Coupler*: $4 \times 2 = 8$ menit.
3. Waktu tambahan produktif: $120 - 8 = 112$ menit (1 jam 52 menit).

Contoh Soal 2: Penentuan Kapasitas Clamshell (Lifting Capacity)

Sebuah *clamshell* memiliki berat isi (*bucket weight*) sebesar 1.200 kg dan kapasitas muat 1,5 m³. Material yang diangkat adalah pasir basah (gamma = 1.600 kg/m³). Berapakah beban total yang harus ditahan oleh kabel crane?

Jawaban:

1. Berat material: $1{,}5\ \text{m}^3 \times 1.600\ \text{kg/m}^3 = 2.400\ \text{kg}$.
2. Beban total: $\text{Berat Bucket} + \text{Berat Material} = 1.200 + 2.400 = 3.600\ \text{kg}$.

Contoh Soal 3: Kedalaman Bor Auger

Unit bor auger memiliki kecepatan penetrasi rata-rata 0,5 meter per menit. Jika satu lubang pondasi berkedalaman 12 meter, hitunglah waktu murni pengeboran untuk 10 lubang.

Jawaban:

1. Waktu per lubang: $12\ \text{m} / 0{,}5\ \text{m} / \text{menit} = 24$ menit.
2. Waktu total: $24\ \text{menit} \times 10 = 240\ \text{menit}\ (4\ \text{jam})$.

Contoh Soal 4: Efisiensi Bucket Factor pada Attachment Khusus

Bucket standar ekskavator memiliki *bucket factor* (BF) 0,90. Jika digunakan untuk tanah lempung yang sangat lengket, BF turun menjadi 0,70. Hitung penurunan volume per siklus jika kapasitas nominal bucket adalah 1,2 m³.

Jawaban:

1. Volume normal: $1{,}2 \times 0{,}9 = 1{,}08\ \text{m}^3$.
2. Volume material lengket: $1{,}2 \times 0{,}7 = 0{,}84\ m^3$.
3. Penurunan: $1{,}08 - 0{,}84 = 0{,}24\ \text{m}^3$ per siklus.

Contoh Soal 5: Analisis Luas Area Ripping (Ripper)

Sebuah bulldozer menggunakan attachment *multi-shank ripper* dengan lebar kerja 3,2 m. Kecepatan kerja saat membajak adalah 2,5 km/jam. Jika efisiensi kerja adalah 0,75, hitung luas area yang dibajak per jam.

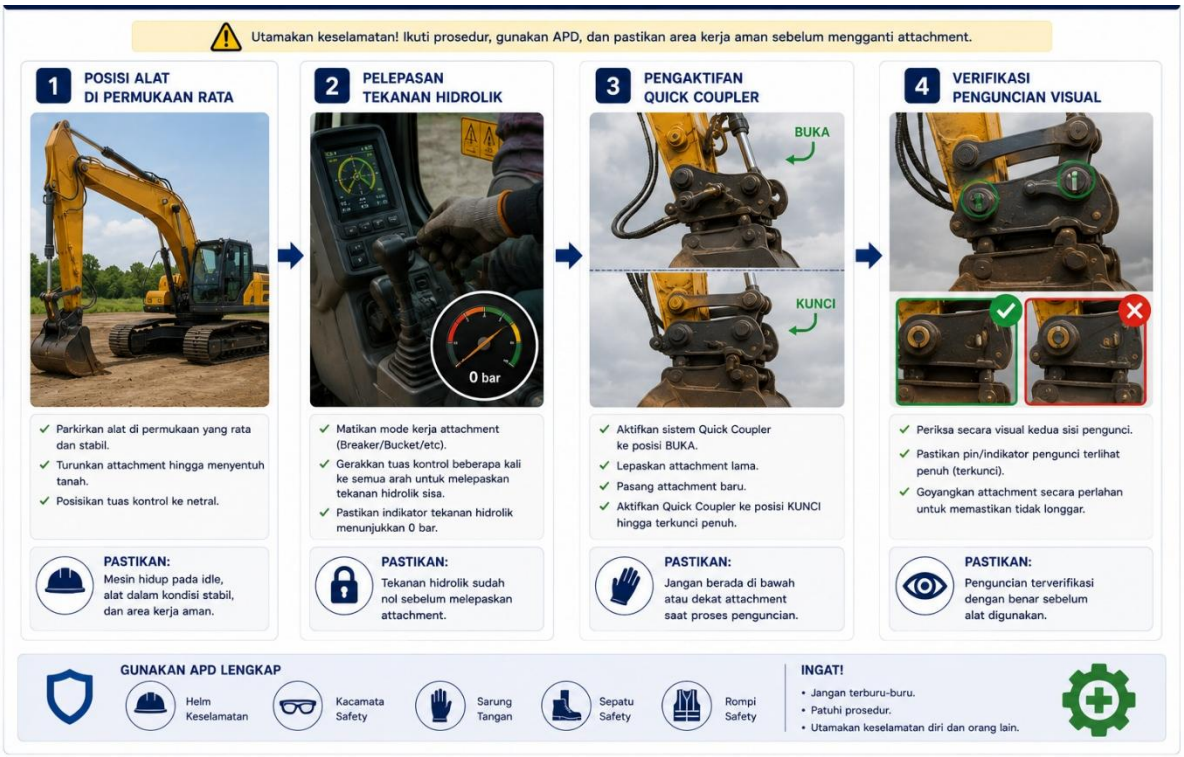
Jawaban:

1. Ubah kecepatan: $2{,}5\ \text{km/jam} = 2.500\ \text{m/jam}$.
2. Produksi luas: $\text{Lebar} \times \text{Kecepatan} \times \text{Efisiensi} = 3{,}2 \times 2.500 \times 0{,}75 = 6.000\ \text{m}^2/\text{jam}$.

10.7 PERAWATAN DAN KESELAMATAN KERJA

Attachment memerlukan perawatan rutin yang meliputi:

- Pemeriksaan Pin dan Baut: Memastikan attachment terpasang kokoh pada lengan utama.
- Pelumasan (Greasings): Dilakukan pada titik-titik pivot agar gerakan attachment lancar dan tidak cepat aus.
- Inspeksi Selang Hidrolik: Mencegah kebocoran yang dapat menyebabkan penurunan tekanan kerja atau pencemaran lingkungan.



Gambar 10.4 Langkah K3 Penggantian Attachment

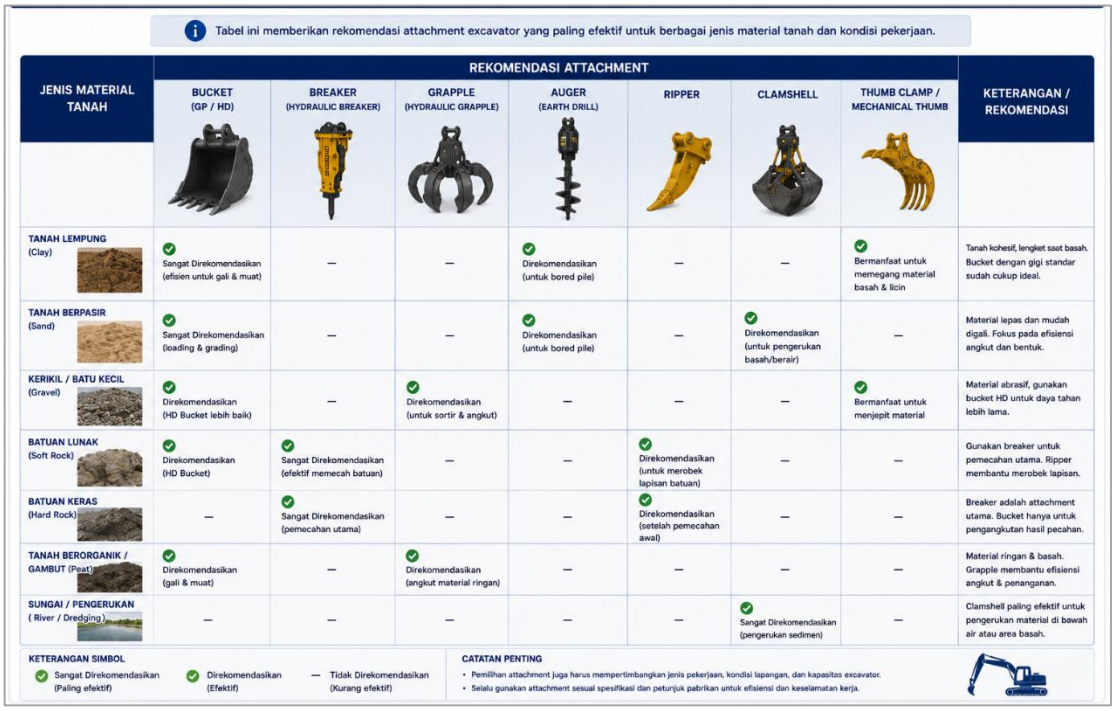
10.8 RANGKUMAN

Inovasi attachment seperti *clamshell, auger,* dan *quick coupler* telah mengubah paradigma satu alat satu fungsi menjadi satu alat serbaguna. Engineer harus mampu menganalisis kebutuhan proyek dan memilih attachment yang tepat guna mencapai produktivitas maksimal serta efisiensi biaya operasional yang optimal dalam manajemen pemindahan tanah mekanis.

Lampiran Visual:



Gambar 10.5 Perbandingan Produktivitas *Excavator*



Gambar 10.6 Rekomendasi Jenis Attachment Berdasarkan Material Tanah



Gambar 10.7 Mekanisme Penguncian Hidrolik pada Quick Coupler Generasi Terbaru



Gambar 10.8 Siklus Perawatan Preventif Attachment Alat Berat

Bagian III

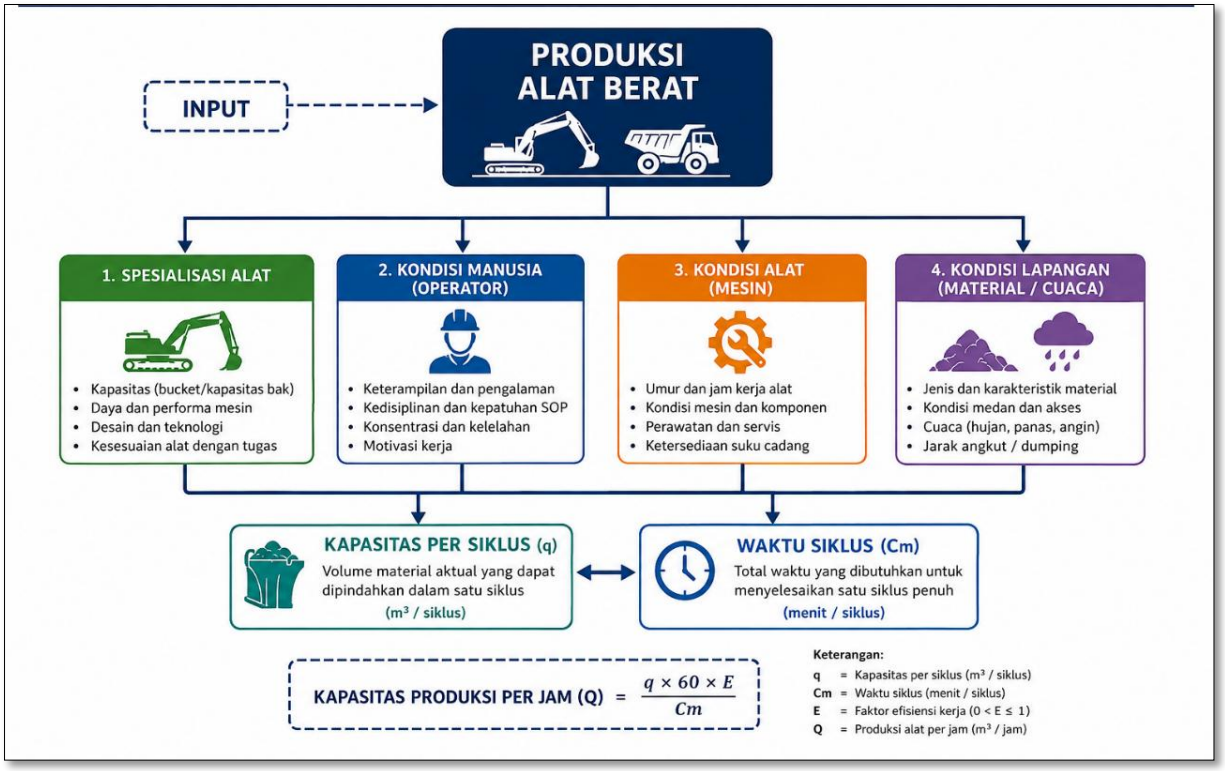
Analisis Engineering dan Manajemen

BAB 11
ANALISIS PRODUKTIVITAS ALAT BERAT

11.1 PENDAHULUAN DAN SIGNIFIKANSI EKONOMI

Dalam manajemen pemindahan tanah mekanis (PTM), produktivitas alat berat merupakan determinan utama keberhasilan proyek dari aspek durasi dan biaya. Produktivitas didefinisikan sebagai jumlah pekerjaan atau volume material yang dapat diselesaikan oleh suatu alat dalam satu satuan waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam m^3/jam atau ton/jam. Analisis produktivitas yang akurat sangat krusial karena berdampak langsung pada:

1. Kecepatan penyelesaian pekerjaan: Semakin tinggi produktivitas, semakin cepat proyek mencapai *milestone*.
2. Efisiensi biaya dan bahan bakar: Optimasi kinerja unit meminimalkan konsumsi BBM per m^3 material.
3. Keseimbangan Armada (*Fleet Matching*): Menentukan jumlah unit yang tepat guna menghindari fenomena *bottleneck* atau *idle time*.



Gambar 11.1 Skema Hierarki Produksi Alat Berat

11.2. FORMULASI UMUM KAPASITAS PRODUKSI

Secara fundamental, kapasitas produksi alat berat (Q) dihitung menggunakan rumus dasar yang mengintegrasikan volume per siklus, durasi kerja, dan faktor efisiensi lapangan. Rumus Dasar:

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{Cm}$$

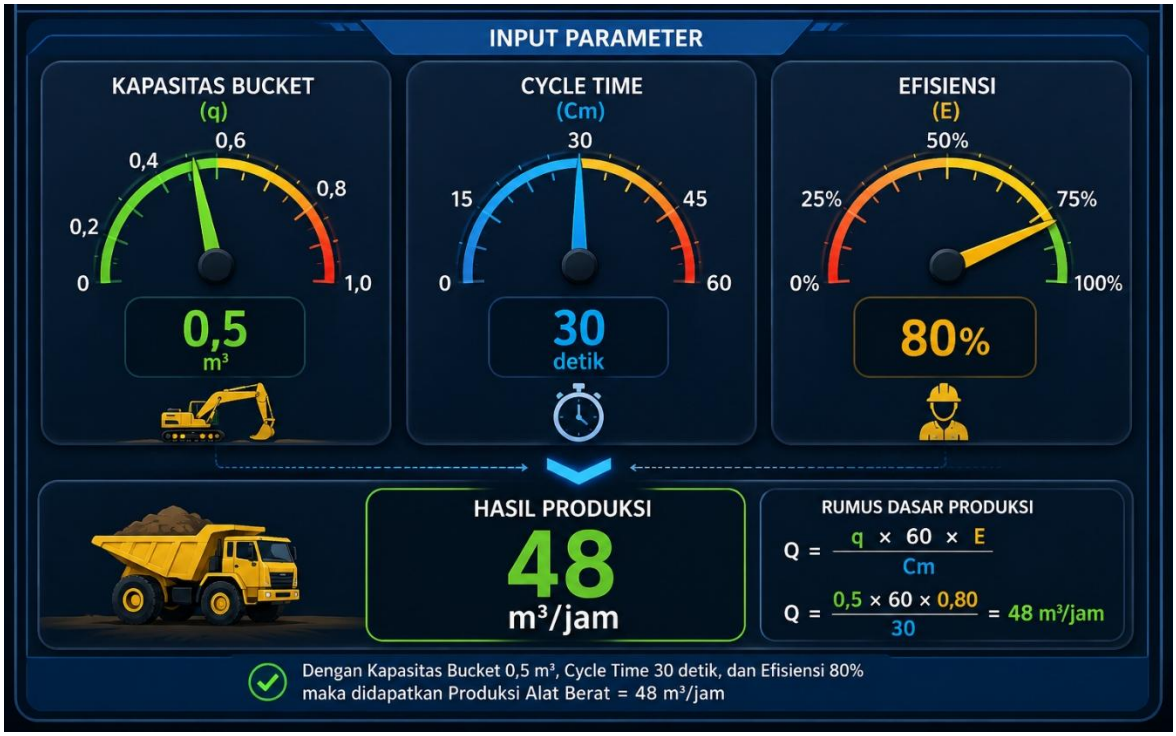
Keterangan:

Q = Produksi alat per jam (m^3/jam).

q = Kapasitas produksi per siklus atau isi aktual per siklus (m^3).

E = Faktor efisiensi kerja total (gabungan efisiensi alat, operator, dan manajemen).

Cm = Waktu siklus total dalam menit (*Cycle Time*).



Gambar 11.2 Visualisasi Data Input Produktivitas

11.3 ANALISIS WAKTU SIKLUS (*CYCLE TIME* - C_m)

Waktu siklus merupakan durasi total yang dibutuhkan alat untuk menyelesaikan satu rangkaian operasi penuh.

11.3.1. Komponen Waktu Siklus (Ct)

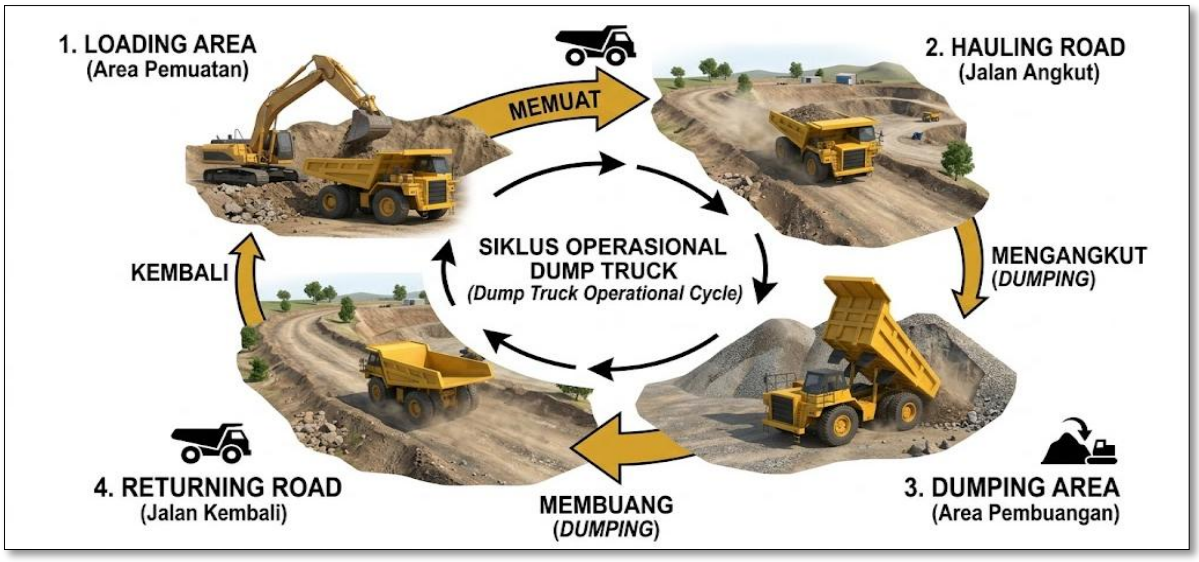
Secara formal, waktu siklus terdiri dari empat elemen utama:

1. Tg *(Digging Time):* Waktu penggalian atau pengisian muatan.
2. Ta *(Swing/Haul Time):* Waktu ayun bermuatan atau waktu tempuh pengangkutan.
3. Tb *(Dumping Time):* Waktu untuk menumpahkan atau membuang muatan.
4. Tk *(Return Time):* Waktu ayun kosong atau waktu kembali tanpa muatan.

Rumus: $Cm = Tg + Ta + Tb + Tk$.

11.3.2. Waktu Tetap (Z)

Pada beberapa jenis alat, terdapat Waktu Tetap *(Z)* yang mencakup durasi ganti gigi, manuver mengambil posisi, atau persiapan pemuatan. Contohnya pada *Wheel Loader*, Caterpillar memberikan *basic cycle time* standar antara 0,45 - 0,55 menit pada kondisi tanah keras.



Gambar 11.3 Segmen Perjalanan Alat Angkut

11.4 FAKTOR EFISIENSI KERJA *(E)*

Efisiensi kerja merupakan koefisien koreksi yang menyesuaikan produktivitas ideal (teoretis) menjadi produktivitas aktual di lapangan.

11.4.1. Parameter Pengaruh Efisiensi

Berdasarkan data teknis, efisiensi dipengaruhi oleh tiga pilar utama:

- *Job Efficiency*: Dipengaruhi oleh hambatan medan dan tata kelola proyek (rentang nilai 0,5 - 0,9).
- Operator Skill: Keterampilan operator dalam mengendalikan alat (Baik: 0,90 - 1,00; Jelek: 0,50 - 0,60).
- Kondisi Lapangan: Meliputi visibilitas, cuaca, dan kekerasan material.

Tabel 11.1 Nilai Efisiensi Kerja Berdasarkan Kondisi Operasional

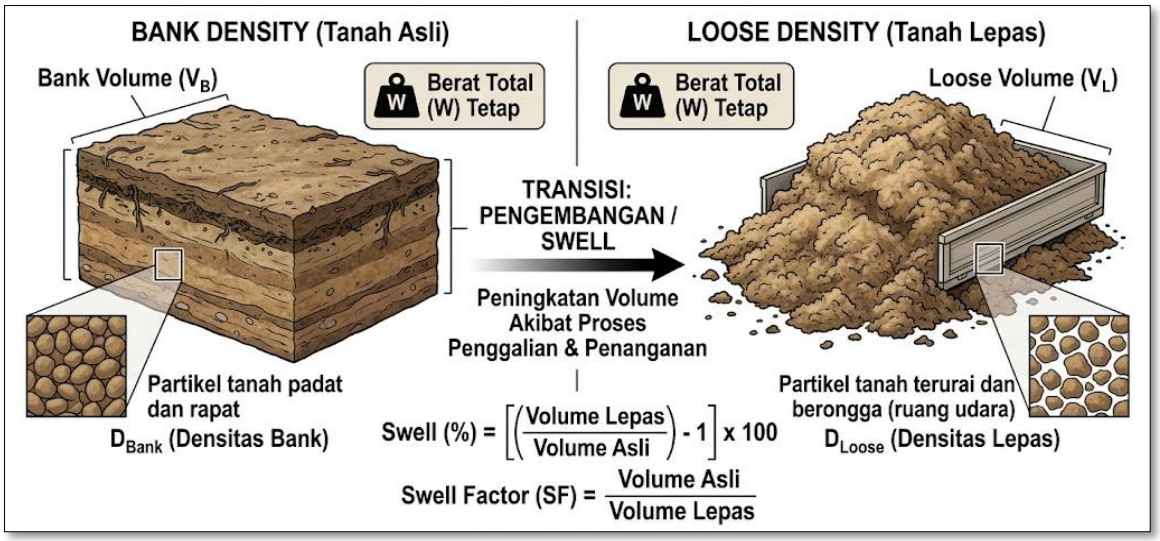
KONDISI MEDAN	MEMUASKAN (BAGUS)	BIASA	BURUK
ALAT BAGUS	0,81	0,76	0,70
ALAT BIASA	0,75	0,71	0,65
ALAT BURUK	0,61	0,57	0,52

(Sumber: Diolah dari Tabel 4.2 Nilai Efisiensi Kerja Alat)

11.5 FAKTOR PENGISIAN ALAT (FILL FACTOR – *K*)

Isi aktual material dalam wadah (bucket atau bak) jarang mencapai 100% dari kapasitas geometrisnya karena adanya rongga udara atau tumpahan material.

- Faktor *Bucket Backhoe*: Untuk tanah lempung asli, faktor bucket berkisar antara 1,00 - 1,10, sedangkan untuk batuan hasil ledakan menurun menjadi 0,70 - 0,80.
- Transformasi *Volumetrik*: Hasil akhir perhitungan produktivitas harus dikoreksi dengan *Swell Factor* (sf) jika ingin mendapatkan hasil dalam satuan Bank Cubic Meter (BCM).



Gambar 11. 4 Perbandingan Densitas Material

11.6 OPTIMASI ARMADA: MATCHING EQUIPMENT

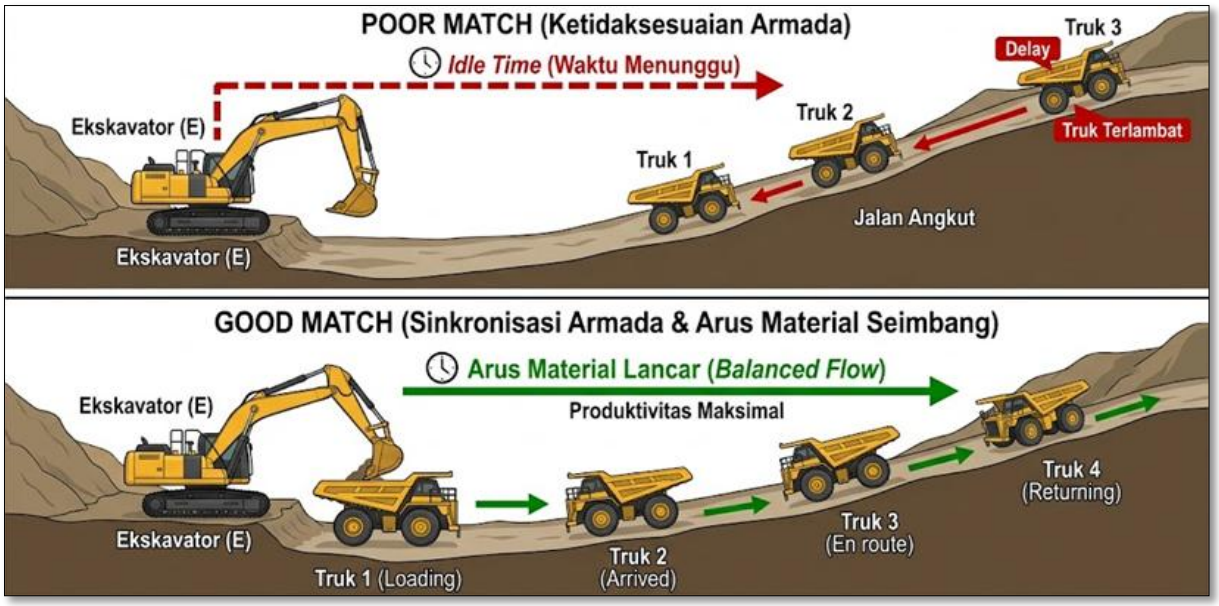
Tujuan utama analisis produktivitas adalah menciptakan keserasian antara alat pemuat (*loader*) dan alat angkut (*truck*) guna meminimalkan biaya per unit *(Unit\ Cost).*

Keseimbangan Armada (N):

$$N = \frac{Cycle\ Time\ Truck}{Loading\ Time}$$

Jika jumlah truk *(N)* tidak seimbang:

- Truk Terlalu Sedikit: Ekskavator akan mengalami *idle* (menunggu truk), yang menurunkan efisiensi sistem.
- Truk Terlalu Banyak: Terjadi antrean truk di lokasi pemuatan, yang meningkatkan konsumsi bahan bakar secara tidak produktif.



Gambar 11.5 Dinamika Sinkronisasi Fleet

11.7 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Produktivitas Ekskavator Backhoe

Diketahui sebuah excavator memiliki kapasitas bucket 1,2 m³, *fill factor* 0,85, waktu siklus 30 detik, dan efisiensi kerja 0,83. Hitung produktivitas per jamnya.

Jawaban:

1. Konversi waktu siklus ke menit: $30 \text{ detik} = 0{,}5 \text{ menit}$.
2. Formula:

$$Q = \frac{q \times FF \times 60 \times E}{Cm}$$

$$Q = \frac{1{,}2 \times 0{,}85 \times 60 \times 0{,}83}{Cm}$$

$$Q = 101{,}59 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Contoh Soal 2: Penentuan Kapasitas Bucket Loader

Sebuah proyek membutuhkan material sebesar 150 m³/jam. Digunakan *Wheel Loader* dengan waktu siklus 0,50 menit. Jika *Fill Factor* 0,95 dan efisiensi 0,75, berapakah kapasitas bucket minimal yang diperlukan?

Jawaban:

1. Jumlah siklus per jam: $60/0{,}50 = 120$ jam.
2. Volume per siklus: $150/120 = 1{,}25 \text{ m}^3/\text{siklus}$.
3. Kapasitas bucket nominal yang dibutuhkan: $1{,}25 \ / \ (0{,}95 \times 0{,}75) \ = 1{,}754 \text{ m}^3$.

Contoh Soal 3: Waktu Siklus Terintegrasi Dump Truck

Truk mengangkut tanah dengan jarak 2.000 m. Kecepatan angkut 40 km/jam, kecepatan kembali 30 km/jam. Waktu muat dari loader adalah 3 rit pengisian dengan waktu siklus loader 0,4 menit. Waktu *dumping* 1,2 menit dan waktu *spotting* 0,3 menit. Hitung total *Cm* truk.

Jawaban:

1. Waktu Pemuatan (LT): $3 \times 0{,}4 = 1{,}2$ menit.
2. Waktu Angkut (HT): $(2000 \ / \ 40000) \times 60 = 3$ menit.
3. Waktu Kembali (RT): $(2000 \ / \ 30000) \times 60 = 4$ menit.
4. Total Cm: $1{,}2 \ + \ 3 \ + \ 4 \ + \ 1{,}2 \ + \ 0{,}3 \ = \ 9{,}7$ menit.

Contoh Soal 4: Perhitungan Durasi Earthwork

Terdapat volume galian sebesar 20.000 m³. Produktivitas unit galian adalah 120 m³/jam dengan jam kerja efektif 8 jam/hari. Hitung durasi penyelesaian pekerjaan tersebut.

Jawaban:

1. Produksi harian: $120 \times 8 = 960 \ \text{m}^3/\text{hari}$.
2. Durasi: $20.000/960 = 20{,}83 \ \text{hari}$.
3. Dibulatkan menjadi **21 hari kerja**.

Contoh Soal 5: Produktivitas Alat Pemadat (Compactor)

Tentukan produksi pemadatan alat gilas dengan lebar efektif 1,8 m, kecepatan kerja 11 km/jam, dan tebal lapisan padat 10 cm. Diperlukan 4 lintasan untuk mencapai kepadatan target.

Jawaban:

Rumus:

$$Q_A = \frac{W \times S \times L}{P}$$

$$Q_A = \frac{1{,}8 \times 11 \times 100}{4} \text{ (Catatan: } L \text{ dalam } mm)$$

$$Q_A = 495 \text{ m}^3/\text{jam}$$

11.8 MONITORING DAN PENGENDALIAN PRODUKSI

Keberhasilan perencanaan produktivitas harus divalidasi dengan monitoring riil di lapangan menggunakan teknologi digital.

- *Fuel Management*: Menggunakan sensor *real-time* dan telematika untuk melacak konsumsi BBM per unit produksi.
- *Downtime Analysis*: Mengidentifikasi penyebab kerusakan alat (*breakdown*) yang menghentikan operasi.
- Evaluasi Aktual vs Rencana: Membandingkan volume harian yang tercapai dengan target teoretis guna melakukan penyesuaian strategi armada.

11.9 KESIMPULAN BAB 11

Analisis produktivitas bukan sekadar perhitungan matematis statis, melainkan proses dinamis yang mengintegrasikan mekanika alat berat dengan manajemen proyek. Engineer harus mampu membaca fenomena *bottleneck*, menghitung keseimbangan armada, dan mengendalikan faktor-faktor efisiensi guna mencapai target produksi dengan biaya operasional yang paling rendah.

BAB 12
ANALISIS BIAYA OPERASIONAL DAN KEPEMILIKAN

12.1 PENDAHULUAN DAN SIGNIFIKANSI EKONOMI

Dalam pekerjaan pemindahan tanah mekanis (PTM), alat berat merupakan komponen biaya terbesar, di mana pada proyek *earthwork* skala besar, biaya ini dapat mendominasi anggaran total konstruksi. Keberhasilan suatu proyek tidak hanya ditentukan oleh produktivitas fisik alat, tetapi juga oleh efisiensi biaya per jam (*hourly cost*) dan biaya satuan pekerjaan (*unit cost*). Pengelola proyek harus selalu berusaha agar biaya yang dikeluarkan sekecil mungkin untuk mencapai produksi yang maksimal, yang secara teknis dikenal dengan istilah "tampilan alat terbaik".

Ketidakmampuan dalam mengestimasi biaya operasional dapat menyebabkan kerugian finansial yang signifikan, meskipun alat bekerja dengan produktivitas tinggi. Oleh karena itu, *engineer* harus mampu menghitung biaya kepemilikan dan operasi secara presisi guna menentukan kelayakan investasi dan daya saing dalam penawaran proyek.

12.2 STRUKTUR KLASIFIKASI BIAYA ALAT BERAT

Secara fundamental, biaya alat berat didefinisikan sebagai seluruh biaya yang dikeluarkan untuk memiliki dan mengoperasikan alat selama masa penggunaannya. Biaya ini secara garis besar dibagi menjadi dua kategori utama: Biaya Kepemilikan (*Ownership Cost*) dan Biaya Operasional (*Operating Cost*).



Gambar 12.1 Struktur Biaya Alat Berat Terintegrasi

12.3 ANALISIS BIAYA KEPEMILIKAN (*OWNERSHIP COST*)

Biaya kepemilikan adalah biaya tetap yang harus dibayar oleh pemilik alat karena telah mengeluarkan modal untuk pembelian, terlepas dari apakah alat tersebut bekerja atau tidak.

12.3.1. Harga Alat dan Nilai Sisa

Harga alat yang digunakan dalam perhitungan harus mencakup seluruh biaya sampai alat siap beroperasi di lokasi, termasuk harga *Free on Board* (FOB), asuransi angkutan, bea masuk, dan biaya perakitan. Nilai Sisa (*Salvage Value*) adalah nilai jual alat setelah umur ekonomisnya berakhir, yang biasanya diasumsikan sebesar 10% dari harga beli asli.

12.3.2. Depresiasi (Penyusutan)

Depresiasi adalah berkurangnya nilai nominal alat akibat pemakaian dan bertambahnya umur. Metode yang paling umum digunakan dalam konstruksi adalah Metode Garis Lurus (*Straight Line Method*), di mana penurunan nilai dianggap konstan setiap tahunnya.

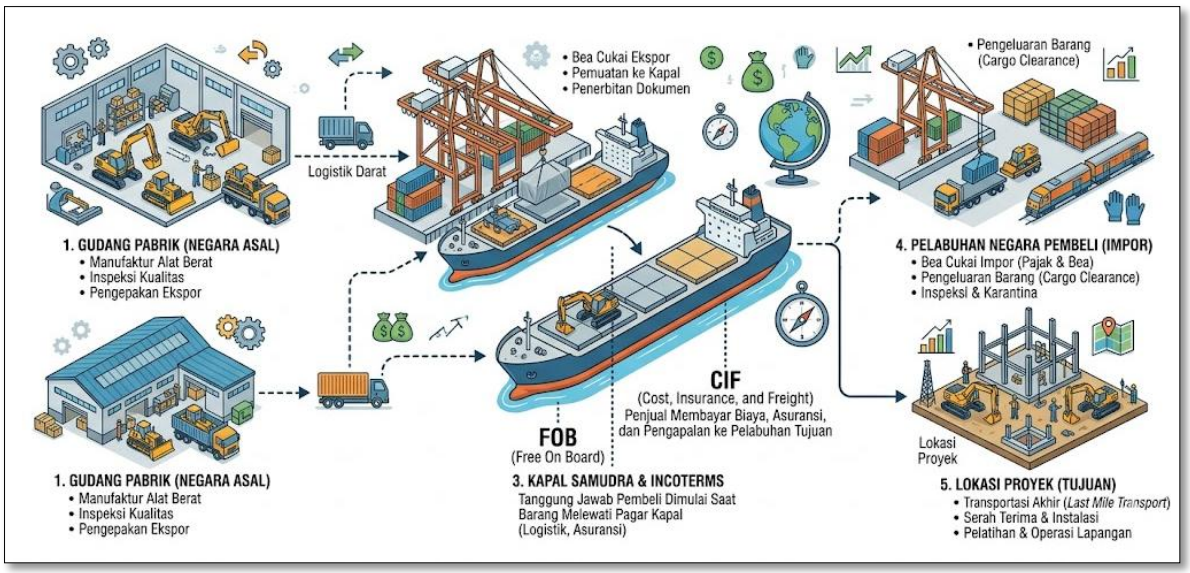
Formula Depresiasi per Jam:

$$Depresiasi = \frac{Harga\ Alat - Harga\ Ban - Nilai\ Sisa}{Umur\ Ekonomis\ (Jam)}$$

Catatan: Untuk alat bertipe crawler (roda rantai), harga ban tidak dikurangkan karena komponen roda sudah termasuk dalam depresiasi undercarriage.

12.3.3. Bunga Modal, Pajak, dan Asuransi

Bunga modal diperhitungkan karena pembelian alat seringkali melibatkan pinjaman bank atau merupakan peluang investasi yang hilang (*opportunity cost*). Selain itu, biaya asuransi mencakup perlindungan terhadap risiko kecelakaan, kebakaran, maupun kehilangan saat pengangkutan atau operasi. Di Indonesia, pajak kekayaan perusahaan biasanya juga dibebankan pada kepemilikan alat berat.



Gambar 12.2 Alur Prosedur Pembelian Alat Berat International

12.4 ANALISIS BIAYA OPERASIONAL (*OPERATING COST*)

Biaya operasi adalah biaya variabel yang hanya timbul pada saat alat digunakan untuk bekerja.

12.4.1. Konsumsi Bahan Bakar dan Pelumas

Bahan bakar merupakan komponen biaya operasional terbesar. Pemakaian BBM sangat dipengaruhi oleh daya mesin (HP), faktor beban kerja, dan kondisi medan.

- Bensin: Estimasi pemakaian sebesar 0,06 galon/HP/jam.
- Solar: Estimasi pemakaian sebesar 0,04 galon/HP/jam.

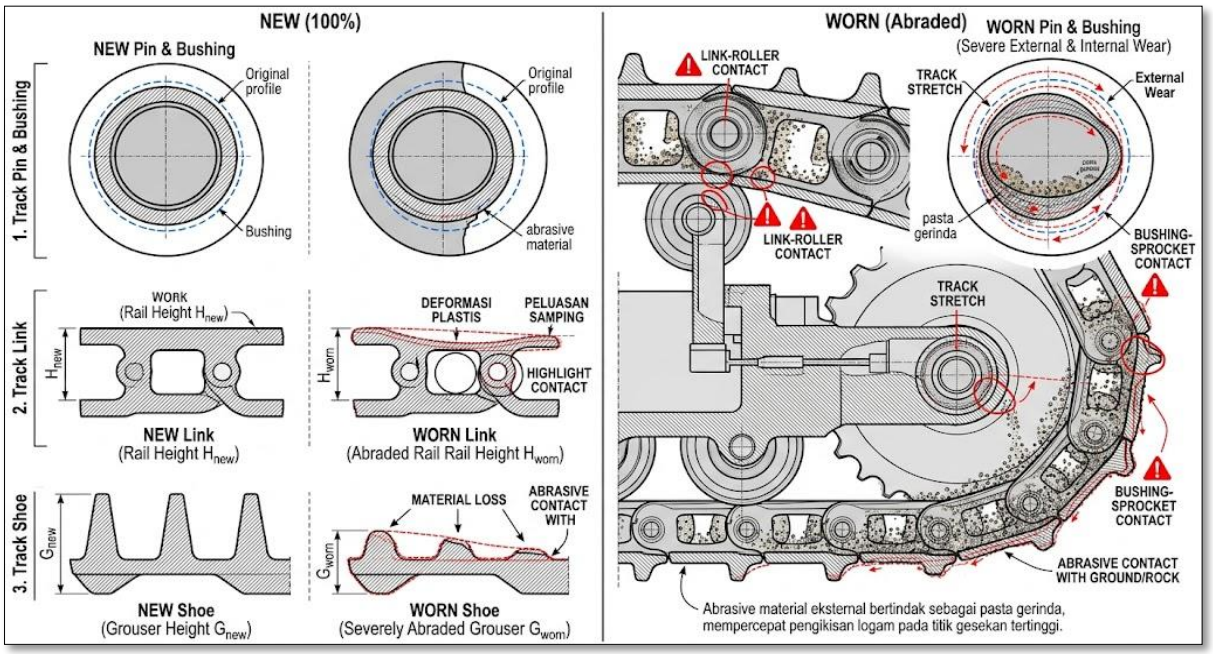
Biaya pelumas (oli mesin, transmisi, hidrolik) dan gemuk (*grease*) juga harus dihitung berdasarkan kapasitas karter dan interval penggantian oli. Biaya filter biasanya diestimasikan sebesar 50% dari total biaya pelumas.

12.4.2. Ban dan Undercarriage

Ban pada alat roda karet memiliki masa pakai yang jauh lebih pendek daripada umur ekonomis mesin. Faktor yang mempercepat keausan ban antara lain permukaan jalan yang tajam, tekanan angin, dan kecepatan operasional. Untuk alat roda rantai, biaya perbaikan *Undercarriage* (penomba) merupakan bagian terbesar dari biaya pemeliharaan karena sering mengalami gesekan (*abrasiveness*) dan benturan (*impact*) di medan berbatu.

12.4.3. Upah Operator

Biaya operator dihitung berdasarkan jam kerja efektif, tingkat keahlian, dan sistem lembur proyek. Operator yang terampil dapat meningkatkan produktivitas sekaligus menekan risiko kerusakan alat.



Gambar 12. 3 Visualisasi Komponen Keausan *Undercarriage*

12.5 TOTAL *HOURLY COST* DAN ANALISIS BIAYA SATUAN

Setelah seluruh komponen dihitung, *Total Hourly Cost* didapat dari penjumlahan biaya kepemilikan dan biaya operasi. Efisiensi proyek ditentukan oleh Biaya Satuan (*Unit Cost*), yaitu rasio antara biaya per jam dengan produktivitas aktual alat.

$$\text{Unit Cost (Rp/m}^3) = \frac{Total\ Hourly\ Cost\ (\text{Rp/jam})}{Produktivitas\ (\text{m}^3/\text{Jam})}$$

12.6 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Perhitungan Depresiasi Garis Lurus

Sebuah ekskavator dibeli seharga Rp 1.500.000.000 dengan perkiraan nilai sisa sebesar 10%. Alat tersebut memiliki umur ekonomis 5 tahun dengan asumsi penggunaan 2.000 jam per tahun. Hitunglah biaya depresiasi per jam menggunakan metode garis lurus.

Jawaban:

1. **Nilai Sisa :** $10\% \times 1.500.000.000 = \text{Rp.}\ 150.000.000$.
2. **Total Jam :** $5\ \text{tahun} \times 2.000\ \text{jam/tahun} = 10.000\ \text{jam.}$
3. **Depresiasi :** $\frac{1.500.000-150.000}{10.000} = 135.000\ \text{jam}$

Contoh Soal 2: Bunga Modal dan Pajak

Berdasarkan data soal nomor 1, jika pemilik menggunakan faktor bunga, pajak, dan asuransi sebesar 15% per tahun, hitunglah biaya tersebut per jam operasional. Gunakan formula pendekatan faktor investasi.

Jawaban:

1. ***Faktor Investasi =*** $\frac{n+1}{2n} = \frac{5+1}{2(5)} = 0{,}6$
2. ***Biaya PerTahun =*** $0{,}6 \times 1.500.000.000 \times 15\% = \text{Rp.}\ 135.000.000$
3. ***Biaya Per Jam =*** $\frac{135.000.000}{2.000} = \mathbf{Rp.\ 67.500/Jam}$

Contoh Soal 3: Estimasi Konsumsi BBM

Sebuah *Bulldozer* dengan daya mesin 250 HP beroperasi pada medan berat dengan faktor pengoperasian 0,8. Jika harga solar industri adalah Rp. 15.000 liter, hitunglah biaya bahan bakar per jamnya.

Jawaban:

1. **Konsumsi (liter/jam):** $250 \times 0{,}04 \times 0{,}8 = 8\ \text{galon/jam.}$
2. **Konversi ke Liter**: $8 \times 3{,}785 = 30{,}28\ \text{liter/jam.}$
3. **Biaya BBM**: $30{,}28 \times 15.000 = \text{Rp.}\ 454.200\ \text{jam.}$

Contoh Soal 4: Biaya Penggantian Ban

Satu set ban untuk *Dump Truck* seharga Rp 200.000.000 diperkirakan memiliki masa pakai 4.000 jam. Jika biaya perbaikan ban adalah 15% dari biaya penyusutan ban, hitung total biaya ban per jam.

Jawaban:

1. **Penyusutan Ban:** $200.000.000 / 4.000 = \text{Rp } 50.000 \text{ jam.}$
2. **Biaya Perbaikan:** $15\% \times 50.000 = \text{Rp. } 7.500 \text{ jam.}$
3. **Total Biaya Ban:** $50.000 + 7.500 = \text{Rp } 57.500 \text{ jam.}$

Contoh Soal 5: Analisis Unit Cost (Biaya Satuan)

Sebuah armada pemindahan tanah memiliki total biaya kepemilikan dan operasi sebesar Rp 900.000 jam. Produktivitas ekskavator di lapangan adalah 120 m^3/jam. Berapakah biaya produksi per meter kubik material?

Jawaban:

1. **Formula:** $Unit\ Cost = Hourly\ Cost / Produktivitas.$
2. **Hitungan:** $900.000 / 120 = Rp\ 7.500\ m^3.$
3. **Analisis:** *Jika produktivitas turun menjadi* $100\ m^3/\ jam$*, biaya satuan akan naik menjadi* $Rp\ 9.000/m^3$.

12.7 STRATEGI EFISIENSI PROYEK

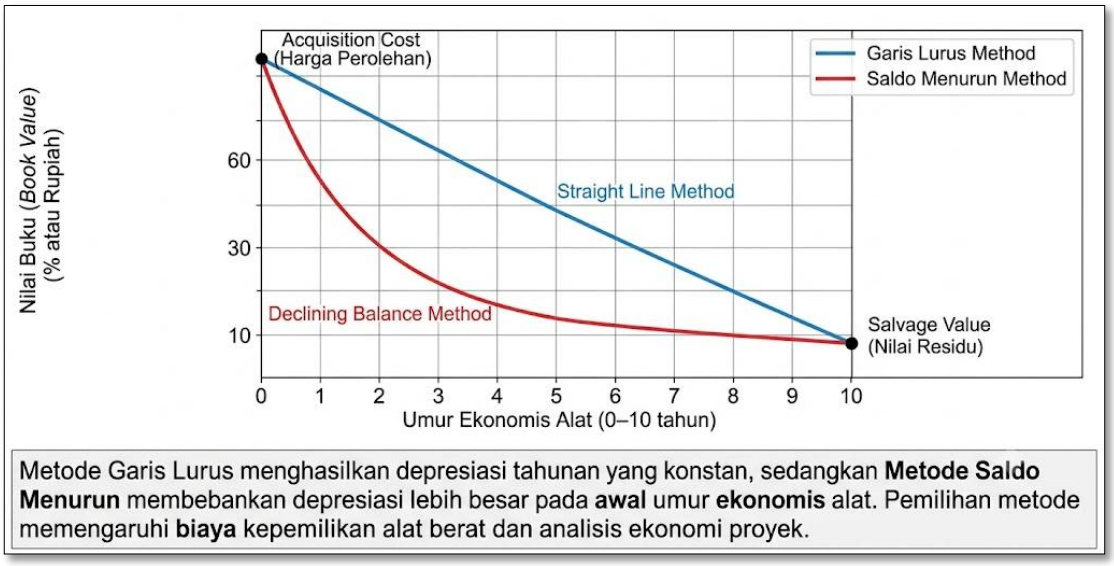
Untuk memastikan keuntungan kontraktor, beberapa strategi manajemen biaya harus diterapkan:

- *Fuel Management*: Menggunakan sensor *real-time* dan telematika untuk melacak pemborosan BBM akibat *idle time*.
- *Preventive Maintenance*: Servis berkala untuk memperpanjang umur ekonomis dan mengurangi biaya perbaikan besar (*breakdown*).
- *Fleet Matching***:** Menyeimbangkan kapasitas alat gali dan angkut (*Match Factor*) untuk meniadakan waktu tunggu tidak produktif yang memboroskan biaya kepemilikan.

12.8 KESIMPULAN BAB 12

Analisis ekonomi alat berat merupakan jembatan antara rekayasa teknik dan manajemen keuangan proyek. Engineer dituntut tidak hanya mahir mengoperasikan alat, tetapi juga cerdas dalam mengelola arus kas investasi dan biaya operasional harian. Pemahaman yang mendalam mengenai depresiasi, konsumsi energi, dan biaya satuan pekerjaan adalah kunci utama dalam memenangkan persaingan di industri konstruksi modern.

Tambahan untuk Bab 12:



Gambar 12.4 Kurva Depresiasi

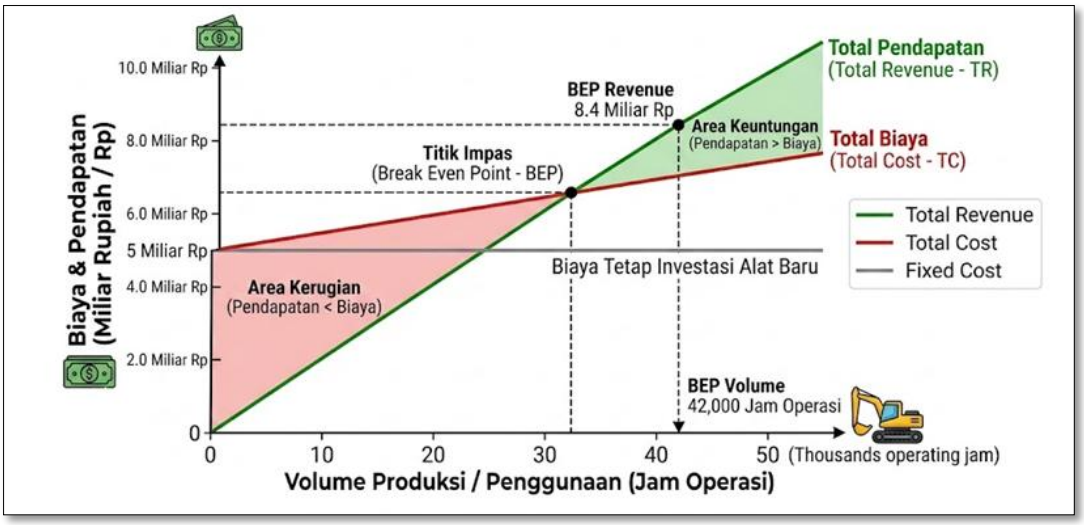
Tabel 12.1 Estimasi Bahan Bakar Per Jam Aplikasi Komatsu/Caterpillar

Jenis Alat Berat	Aplikasi Ringan (L/jam)	Aplikasi Sedang (L/jam)	Aplikasi Berat (L/jam)
Excavator (Kelas 20 Ton) - mis. PC200 / 320	12.0 - 15.0	15.0 - 19.0	19.0 - 24.0
Excavator (Kelas 40 Ton) - mis. PC400 / 340	22.0 - 28.0	28.0 - 35.0	35.0 - 45.0
Bulldozer (Kelas 20 Ton) - mis. D85 / D6	18.0 - 24.0	24.0 - 32.0	32.0 - 42.0
Bulldozer (Kelas 40 Ton) - mis. D155 / D8	35.0 - 45.0	45.0 - 55.0	55.0 - 65.0
Dump Truck / Articulated (Kelas 30-40 Ton)	18.0 - 25.0	25.0 - 35.0	35.0 - 50.0
Wheel Loader (Kelas 3-4 m³) - mis. WA380 / 950	12.0 - 16.0	16.0 - 21.0	21.0 - 27.0

**Catatan: Aplikasi Ringan (Material gembur/loose), Sedang (Material tanah biasa/campuran), Berat (Material keras/batuan/tanjakan). Data ini bersifat indikatif untuk keperluan estimasi teknis dan ekonomi proyek.*



Gambar 12.5 Siklus Perawatan Preventif Alat Berat



Gambar 12.6 Analisis Break Event Point (BEP) Investasi Alat Baru

BAB 13
OPERASI, PERAWATAN, DAN KESELAMATAN KERJA (K3)

13.1 PENDAHULUAN

Dalam pekerjaan pemindahan tanah mekanis (PTM), alat berat bukan sekadar mesin statis, melainkan aset utama yang menentukan keberhasilan finansial dan jadwal proyek. Produktivitas yang tinggi tidak hanya ditentukan oleh kapasitas teoretis alat, tetapi sangat bergantung pada kualitas operasi, sistem perawatan yang sistematis, dan tingkat keselamatan kerja yang ketat. Tanpa manajemen operasi yang baik, koordinasi lapangan akan menjadi buruk, alat saling menghambat, dan produktivitas akan menurun drastis.

13.2 MANAJEMEN OPERASI ALAT BERAT

Operasi alat berat mencakup seluruh aktivitas penggunaan unit untuk melaksanakan pekerjaan konstruksi sesuai prosedur teknis dan keselamatan kerja, mulai dari persiapan hingga monitoring hasil kerja.

13.2.1. Perencanaan dan Pengorganisasian

Tahap perencanaan bertujuan untuk menentukan jumlah alat, menyusun komposisi armada (*fleet*), serta mengestimasi biaya operasi. Pengorganisasian yang efektif harus mengatur interaksi antara operator, mekanik, pengawas lapangan, dan jalur operasi guna meminimalkan waktu tunggu (*idle time*).

13.2.2. Fleet Management (Manajemen Armada)

Fleet management bertujuan menjaga keseimbangan antar alat agar bekerja optimal sebagai satu sistem operasi. Contohnya, memastikan kapasitas ekskavator sebagai unit pemuat seimbang dengan jumlah truk pengangkut guna mengurangi antrean dan *idle time*.



Gambar 13.1 Hierarki Manajemen Operasi *Earthwork*

13.3 SISTEM MANAJEMEN PERAWATAN *(MAINTENANCE)*

Perawatan adalah seluruh kegiatan yang dilakukan untuk menjaga alat tetap dalam kondisi optimal, mencegah kerusakan mendadak, dan memperpanjang umur pakai ekonomis alat.

13.3.1. Klasifikasi Jenis Perawatan

1. *Preventive Maintenance* (Perawatan Pencegahan): Perawatan berkala yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan, meliputi penggantian oli, pengecekan filter, *greasing*, dan servis rutin.
2. *Corrective Maintenance*: Perbaikan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau *breakdown*.
3. *Predictive Maintenance*: Penggunaan sensor dan data teknis untuk memprediksi kapan suatu komponen akan mencapai batas pakainya.

13.3.2. Jadwal Pemeliharaan Berkala

Pelaksanaan pemeliharaan harus berpedoman pada manual yang dikeluarkan pabrik pembuat (misal: Handbook Caterpillar/Komatsu). Jadwal umumnya dibagi menjadi:

- Harian: Dilakukan oleh operator sebelum alat beroperasi (pengecekan air radiator, oli mesin, dan bahan bakar).
- Mingguan/Bulanan**:** Dilakukan oleh mekanik berdasarkan jam kerja alat (*hour meter*) untuk servis yang lebih mendalam.



Gambar 13.2 Siklus Perawatan Preventif Alat Berat

13.4 DOWNTIME DAN EFISIENSI ALAT

Downtime adalah waktu di mana alat tidak dapat bekerja akibat kerusakan, perawatan terjadwal, atau *breakdown* mekanis. Dampak utama dari *downtime* yang tinggi adalah turunnya produktivitas, membengkaknya biaya, dan keterlambatan proyek.

13.4.1. Analisis Ketersediaan Alat (Availability)

Efektivitas pemeliharaan diukur melalui beberapa metrik:

- *Mechanical Availability* (MA): Menunjukkan kesiapan mekanis alat dengan membandingkan jam kerja terhadap waktu perbaikan.
- *Physical Availability* (PA): Menunjukkan ketersediaan fisik alat termasuk waktu tunggu suku cadang.

Tabel 13.1 Faktor Efisiensi Kerja Berdasarkan Kondisi Pemeliharaan

Kondisi Pemeliharaan	Sangat Bagus	Sedang	Sangat Jelek
Efisiensi Operasi	0,83	0,65	0,32

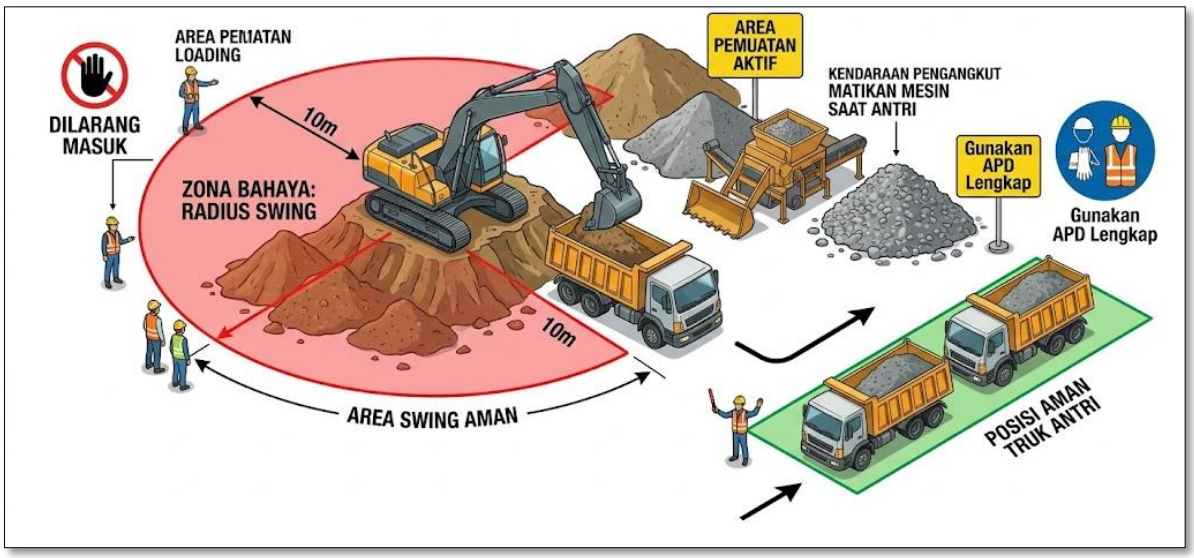
(Sumber: Diolah dari Tabel 3.1 Efisiensi Kerja).

13.5 KESELAMATAN KERJA (K3) OPERASIONAL

Keselamatan kerja adalah upaya sistematis untuk mencegah kecelakaan dan memitigasi risiko dalam operasi alat berat. Risiko utama meliputi tabrakan (*collision*), alat terguling (*rollover*), tergelincir, hingga kebakaran.

13.5.1. Pengendalian Risiko di Lapangan

1. SOP Operasi: Setiap manuver alat harus mengikuti prosedur standar operasi.
2. Haul Road Management: Jalan angkut harus stabil, memiliki drainase yang baik, dan kemiringan (*grade*) yang aman guna mencegah ban pecah atau truk kehilangan kendali.
3. Safety Briefing: Dilakukan setiap pagi sebelum kerja untuk mengingatkan potensi bahaya area spesifik.



Gambar 13.3 Protokol K3 di Area Pemuatan

13.6 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Perhitungan Biaya Operasi per Jam (Hourly Operating Cost)

Sebuah buldozer 250 HP mengonsumsi solar sebesar 30 liter/jam dengan harga Rp 15.000/liter. Biaya pelumas dan filter diestimasikan 10% dari biaya BBM. Upah operator adalah Rp 50.000/jam. Hitung total biaya operasi per jam.

Jawaban:

1. Biaya BBM: $30 \text{ liter} \times \text{Rp } 15.000 = \text{Rp } 450.000/\text{jam}$.
2. Biaya Pelumas/Filter: $10\% \times \text{Rp } 450.000 = \text{Rp } 45.000 \text{ /jam}$.
3. Upah Operator: $\text{Rp } 50.000/\text{jam}$.
4. Total Biaya Operasi: $450.000 + 45.000 + 50.000 = \text{Rp } 545.000/\text{jam}$.

Contoh Soal 2: Analisis Mechanical Availability (MA)

Dalam satu minggu (168 jam tersedia), sebuah ekskavator bekerja selama 100 jam, melakukan pemeliharaan rutin selama 10 jam, dan mengalami kerusakan mendadak (*repair*) selama 15 jam. Hitung nilai *Mechanical Availability*-nya.

Jawaban:

Rumus: $MA = \frac{W}{W+R} \times 100\%$

$(\text{W} = \text{Jam Kerja}, \quad \text{R} = \text{Jam Perbaikan})$

$$MA = \frac{100}{100 + 15} \times 100\% = \frac{100}{115} \times 100\% = \mathbf{86,96}\%$$

Contoh Soal 3: Dampak Idle Time terhadap Biaya Satuan

Biaya total kepemilikan dan operasi armada adalah Rp 1.200.000/jam. Jika produktivitas ideal adalah 150 m^3/jam, namun karena koordinasi buruk terjadi *idle time* yang menurunkan produksi menjadi 100 m^3/jam, berapakah kenaikan biaya per m^3 material?

Jawaban:

1. Biaya Satuan Ideal: $\text{Rp } 1.200.000 / 150 = \mathbf{Rp\ 8.000/m^3}$.
2. Biaya Satuan Aktual: $\text{Rp } 1.200.000 / 100 = \mathbf{Rp\ 12.000/m^3}$.
3. Kenaikan Biaya: $12.000 - 8.000 = \mathbf{Rp\ 4.000/m^3}$.

Contoh Soal 4: Kapasitas Angkut Aman Crane (Safety Factor)

Sebuah crane mengangkat beban 5.000 kg. Jika crane tersebut memiliki kapasitas angkat maksimum pada radius tersebut sebesar 7.500 kg, tentukan *Safety Factor* (SF) nya.

Jawaban:

$$SF = \frac{Kapasitas\ Aman}{Beban\ Aktual} = \frac{7.500}{5.000} = \mathbf{1,5}$$

Contoh Soal 5: Estimasi Konsumsi Pelumas

Berdasarkan manual, konsumsi pelumas untuk mesin adalah:

$$Q_p = \frac{f \times hp \times 0{,}006}{7{,}4} + \frac{c}{t}$$

Jika HP mesin 200, faktor pengoperasian (f) 0,6, kapasitas karter (c) 14 liter, dan waktu ganti oli (t) 80 jam, hitung konsumsi per jam.

Jawaban:

$$Q_p = \frac{0{,}6 \times 200 \times 0{,}006}{7{,}4} + \frac{14}{80} = 0{,}097 + 0{,}175 = \mathbf{0{,}272\ Liter/jam}$$

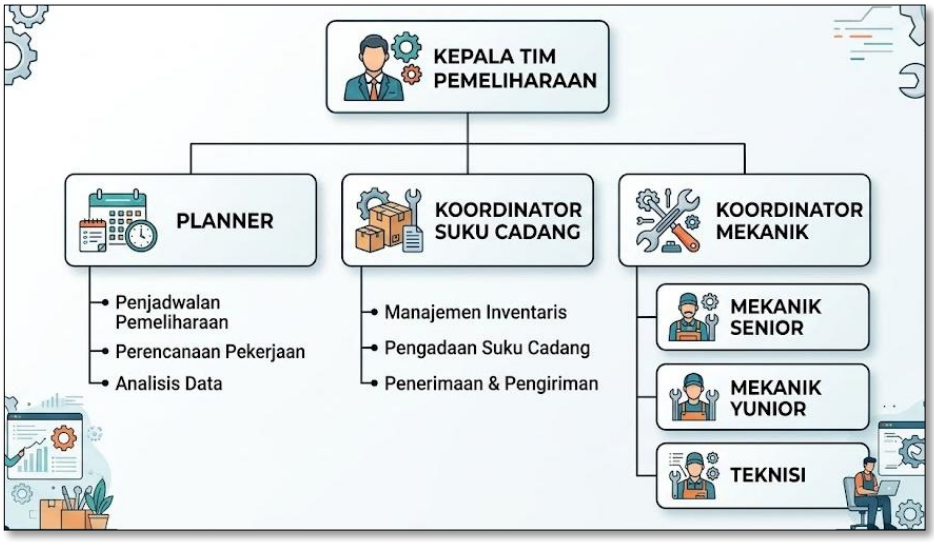
13.7 RANGKUMAN BAB 13

Manajemen operasi, perawatan, dan K3 merupakan pilar fundamental yang menjaga agar investasi alat berat memberikan keuntungan maksimal. Perawatan preventif yang disiplin meminimalkan *downtime*, sementara sistem keselamatan kerja yang ketat menjamin kelancaran operasional tanpa hambatan kecelakaan yang merugikan secara finansial dan reputasi.

Apendiks Bab 13



Gambar 13. 4 Pemeriksaan Harian Pada *Undercariege*



Gambar 13. 5 Struktur Organisasi Tim Pemeliharaan



Gambar 13. 6 Desain Jalan Angkur Yang Ideal

BAB 14
PERENCANAAN PEKERJAAN TANAH DAN VOLUME METRIK

14.1 FILOSOFI PERENCANAAN PEKERJAAN TANAH (*EARTHWORK*)

Perencanaan pemindahan tanah mekanis (PTM) didefinisikan sebagai proses sistematis dalam penyusunan metode kerja menggunakan alat berat secara teknis, ekonomis, dan operasional untuk mencapai target proyek konstruksi atau pertambangan. Keberhasilan operasional lapangan sangat bergantung pada kualitas perencanaan di atas kertas, di mana seorang *engineer* harus mampu mensinkronkan antara kondisi topografi aktual dengan target desain elevasi rencana.

Tujuan utama dari perencanaan ini adalah mencapai produktivitas yang optimum dengan biaya seminimal mungkin, waktu pelaksanaan yang efisien, serta menjaga standar keselamatan operasi yang ketat.

14.2 TAHAPAN SISTEMATIS PERENCANAAN *EARTHWORK*

Berdasarkan standar operasional rekayasa sipil, perencanaan pekerjaan tanah dibagi menjadi delapan langkah sistematis yang terbagi dalam tiga tahap utama:

Tahap 1: Studi dan Analisis Data Dasar

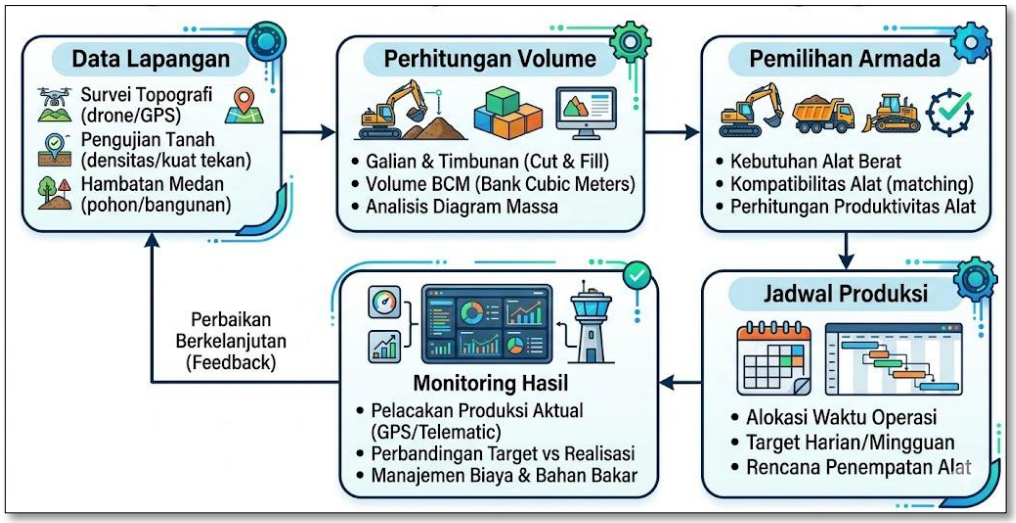
1. Survei Topografi: Melakukan pemetaan untuk menentukan elevasi dan kontur tanah asli (*natural ground level*).
2. Investigasi Tanah: Menentukan jenis tanah (pasir, lempung, atau berbatu) serta menganalisis pengaruhnya terhadap pemilihan alat dan metode kerja.
3. Analisis Volume Pekerjaan: Menghitung secara presisi kuantitas galian (*cut*) dan timbunan (*fill*).

Tahap 2: Pemilihan Strategi Operasional

1. Pemilihan Metode Kerja: Menentukan urutan penggalian dan penimbunan yang paling efisien.
2. Pemilihan Alat Berat: Mencocokkan spesifikasi alat (kapasitas *bucket*, daya dorong) dengan karakteristik material di lapangan.

Tahap 3: Penjadwalan dan Pengendalian

1. Penjadwalan Operasi: Menyusun *timeline* penggunaan armada berdasarkan target produksi harian.
2. *Fleet Management*: Mengatur keseimbangan antara unit pemuat dan pengangkut (*Match Factor*).
3. Monitoring dan Pengendalian: Melakukan pengawasan kontinu terhadap *cycle time* dan biaya operasional.



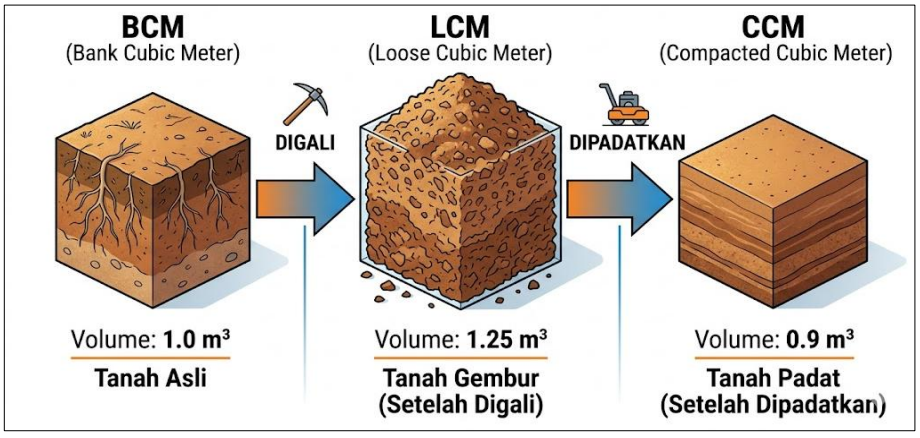
Gambar 14.1 Alur Kerja Perncanaan PTM Terintegrasi

14.3 ANALISIS VOLUME METRIK DAN TRANSFORMASI TANAH

Salah satu aspek paling kritis dalam PTM adalah pemahaman bahwa tanah mengalami perubahan volume selama proses mekanis.

14.3.1. Perubahan Fasa Volume (BCM, LCM, CCM)

1. *Bank Cubic Meter (BCM):* Kondisi tanah asli di alam sebelum diganggu. Pori-pori tanah belum bertambah akibat penggalian.
2. *Loose Cubic Meter (LCM):* Kondisi tanah setelah digali. Volume bertambah (*swell*) karena masuknya udara ke dalam pori-pori tanah yang gembur.
3. *Compacted Cubic Meter (CCM):* Kondisi tanah setelah dipadatkan oleh alat pemadat. Volume menyusut (*shrinkage*) bahkan bisa lebih kecil dari volume aslinya karena udara dikeluarkan secara paksa.



Gambar 14. 2 Ilustrasi Perubahan Fasa Volume Tanah

14.3.2. Formulasi Swell dan Shrinkage

Untuk menghitung faktor pengembangan (*Swell Factor*), digunakan rumus:

$$Swell\ (\%) = \left(\frac{Berat\ BCM}{Berat\ LCM} - 1\right) \times 100\%$$

Sedangkan untuk menghitung kebutuhan volume tanah asli (V_B) guna memenuhi target timbunan padat (V_C):

$$V_B = V_C \times \left(\frac{100\%}{100\% - \%\text{Shrinkage}}\right)$$

14.4 METODE PERHITUNGAN VOLUME GALIAN DAN TIMBUNAN

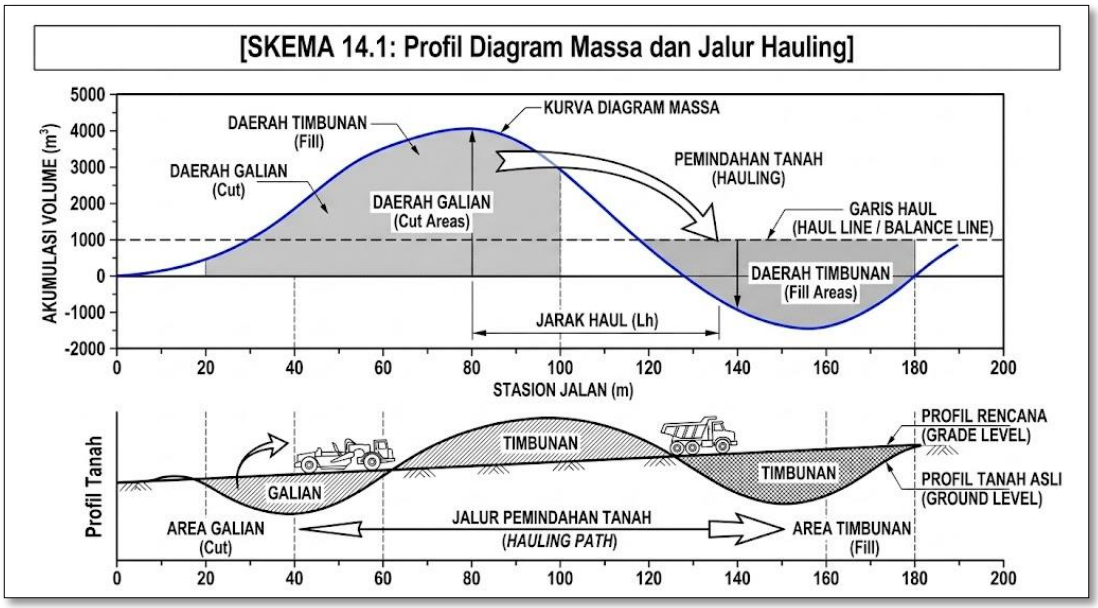
Terdapat beberapa metode standar yang digunakan dalam estimasi kuantitas pekerjaan tanah:

- *Average End Area Method*: Menghitung volume berdasarkan rata-rata luas dua penampang melintang yang berdekatan dikalikan dengan jarak antar penampang tersebut.
- *Cross Section Method*: Digunakan terutama pada proyek jalan raya yang memanjang.
- *Grid Method*: Membagi area menjadi kotak-kotak kecil, efektif untuk perataan lahan luas seperti lapangan terbang.
- *Digital Terrain Model (DTM):* Penggunaan perangkat lunak berbasis BIM (*Building Information Modeling*) untuk simulasi 3D yang sangat akurat.

14.5 DIAGRAM MASSA (*MASS DIAGRAM*)

Diagram massa adalah representasi grafis dari akumulasi volume galian dan timbunan di sepanjang jalur proyek. Fungsi utamanya meliputi:

1. Menentukan jarak angkut rata-rata (*average haul distance*).
2. Mengidentifikasi lokasi *borrow pit* (sumber tanah) dan *disposal area* (pembuangan).
3. Menyeimbangkan volume *cut and fill* untuk meminimalkan biaya pengangkutan.



Gambar 14.3 Profil Diagram Massa dan Jalur Hauling

14.6 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Konversi Volume Tanah Gembur

Bila terdapat 300 BCM tanah biasa asli yang digemburkan dengan ekskavator, hitunglah volumenya sekarang dalam LCM jika diketahui faktor konversi dari asli ke gembur adalah 1,25.

Jawaban:

1. Volume LCM = Volume Asli × Faktor Konversi
2. Volume $LCM = 300 \times 1{,}25 =$ **375 LCM**

Contoh Soal 2: Kebutuhan Material Borrow Pit

Dibutuhkan tanah untuk timbunan bendungan sebesar 50.000 CCM. Diketahui persentase penyusutan (*shrinkage*) material tersebut adalah 15%. Berapakah volume tanah asli (BCM) yang harus digali dari sumber material?

Jawaban:

1. $V_B = V_C \times (100\%/(100\% - \%\text{Shrinkage}))$
2. $V_B = 50.000 \times \left(\frac{100}{85}\right) = 50.000 \times 1{,}176 =$ **58.823,5 BCM**

Contoh Soal 3: Estimasi Durasi Pekerjaan Tanah

Sebuah proyek memiliki volume galian total 20.000 m³. Produktivitas ekskavator di lapangan adalah 120 m³/jam dengan jam kerja efektif 8 jam/hari. Hitung durasi penyelesaiannya.

Jawaban:

1. Produksi Harian $= 120 \times 8 = 960$ m³/hari
2. Durasi $= 20.000/960 = 20{,}83$ hari $\approx$ **21 hari kerja**

Contoh Soal 4: Perhitungan Volume Metode Average End Area

Dua penampang melintang berjarak 50 meter. Luas galian pada penampang A adalah 30 m² dan pada penampang B adalah 50 m². Hitung volume galian di antara keduanya.

Jawaban:

1. Volume = (Luas A + Luas B)/2 × Jarak
2. Volume $= \big((30 + 50)/2\big) \times 50 = 40 \times 50 =$ **2.000 m³**.

Contoh Soal 5: Sinkronisasi Armada (Match Factor)

Sebuah ekskavator memiliki waktu pemuatan (*Loading Time*) 2 menit. Armada truk yang melayani memiliki waktu siklus total (*Cycle Time*) 10 menit. Hitung jumlah truk yang dibutuhkan agar seimbang.

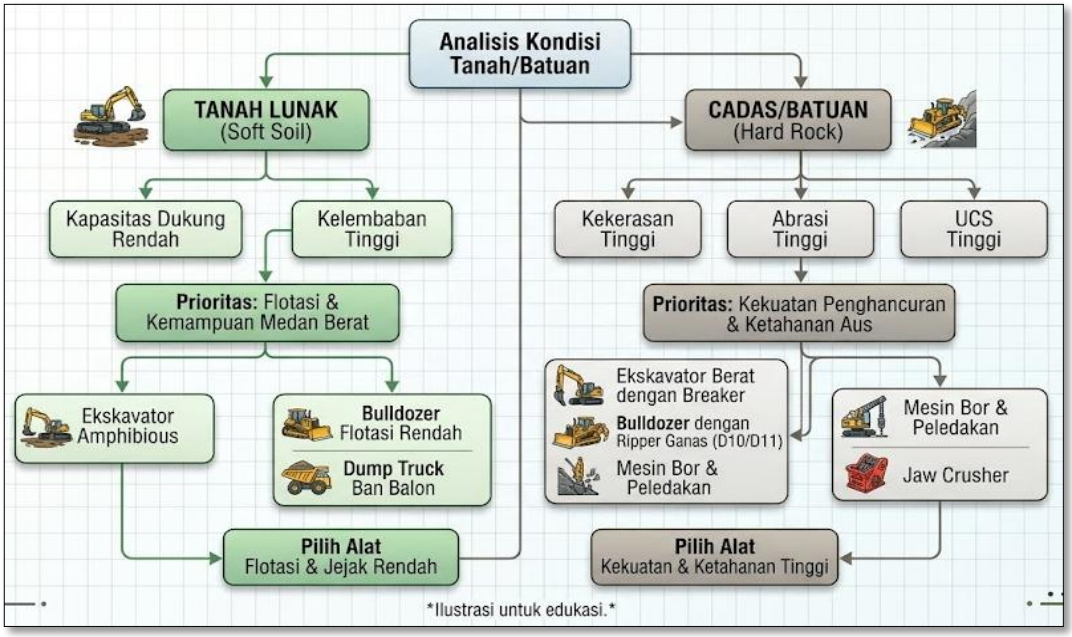
Jawaban:

1. $N =$ *Cycle Time Truck/Loading Time*.
2. $N = 10/2 =$ **5 Unit Truk**.

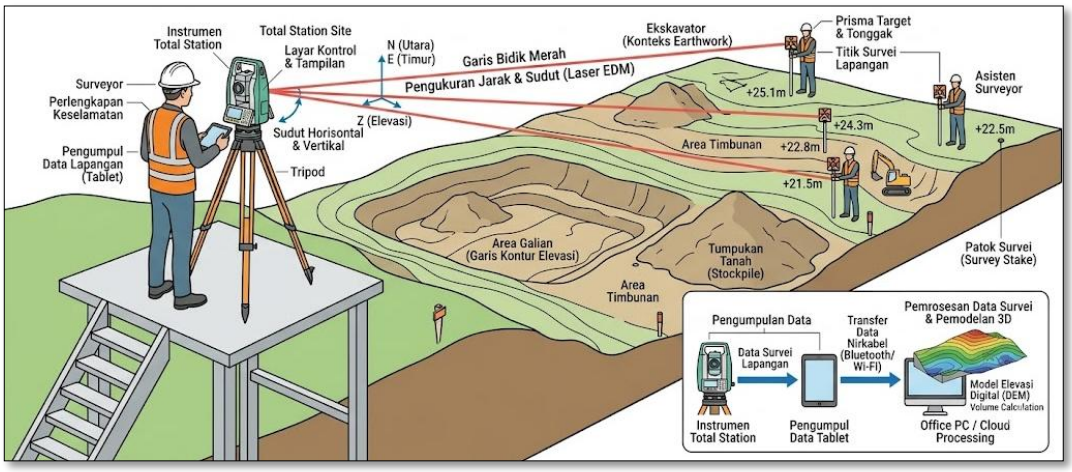
14.7 KESIMPULAN BAB 14

Perencanaan pekerjaan tanah merupakan integrasi antara pemahaman sifat fisik material (volumetrik) dengan manajemen armada alat berat. Kesalahan dalam mengestimasi faktor *swell* dan *shrinkage* dapat mengakibatkan kekurangan material di lapangan atau pembengkakan biaya pengangkutan. Oleh karena itu, penggunaan metode perhitungan yang tepat dan bantuan teknologi digital seperti DTM dan BIM sangat disarankan untuk menjamin akurasi perencanaan.

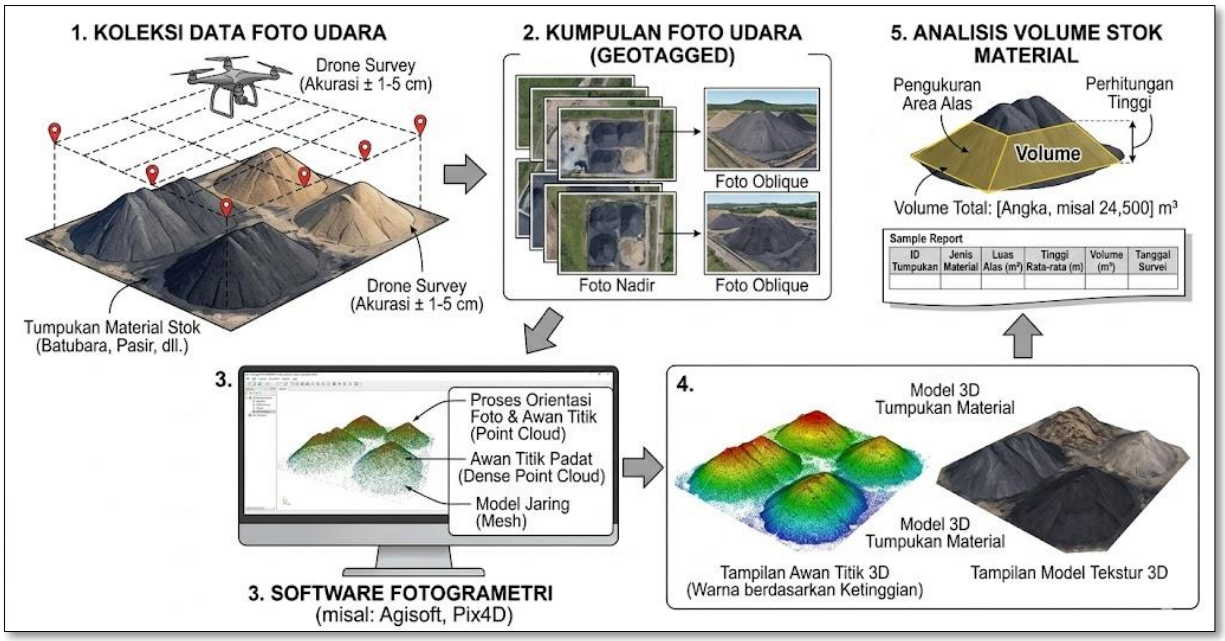
Daftar Visual Tambahan:



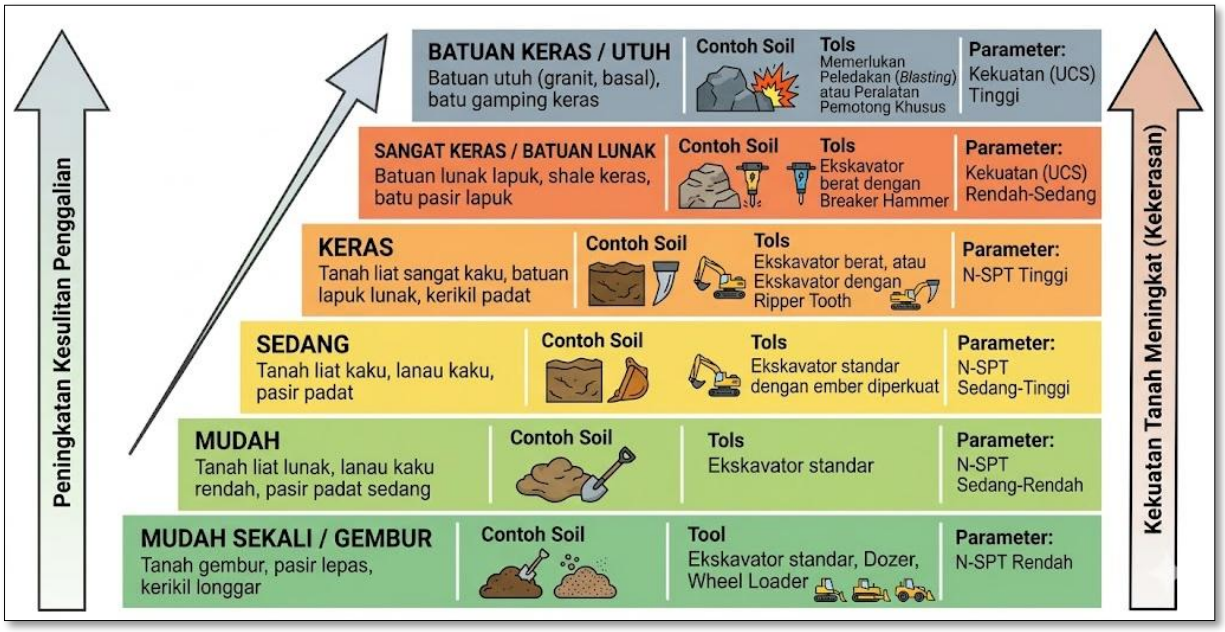
Gambar 14. 4 Hierarki Keputusan Pemilihan Alat



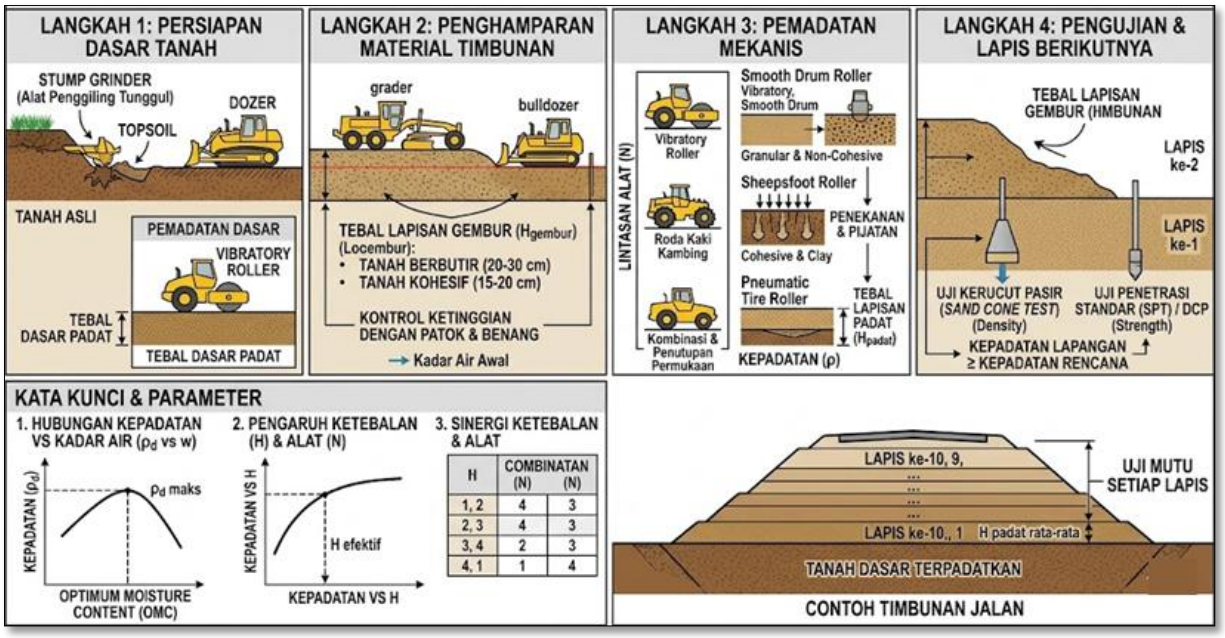
Gambar 14.5 Operasi Survei Topografi Menggunakan Total Station



Gambar 14.6 Foto Udara Untuk Pemodelan 3D Volume



Gambar 14.7 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Kemudahan Penggalian



Gambar 14. 8 Mekanisme Penimbunan Lapis Demi Lapis

Bagaimana Menghitung Diagram Massa

Menghitung Diagram Massa (*Mass Diagram*) merupakan bagian krusial dalam perencanaan pekerjaan tanah (*earthwork*) untuk menyeimbangkan volume galian dan timbunan secara efisien. Berdasarkan materi yang telah kita susun di Bab 14 dan referensi teknis yang tersedia, berikut adalah langkah-langkah sistematis untuk menghitung dan menyusun diagram massa:

1. Perhitungan Volume per Segmen (Galian dan Timbunan)

   Sebelum menyusun diagram, Anda harus menghitung volume material di antara dua titik stasiun yang berdekatan. Metode yang paling umum digunakan adalah *Average End Area Method.*

   - Rumus:

     $$Volume = \frac{Luas\ A + Luas\ B}{2} \times Jarak$$

   Di mana $Luas\ A$ dan $Luas\ B$ adalah luas penampang galian atau timbunan pada dua stasiun yang berurutan.

2. Transformasi Fasa Volume Tanah

   Penting untuk diingat bahwa tanah mengalami perubahan volume saat dipindahkan. Agar diagram massa akurat, semua volume harus berada dalam satuan yang sama, biasanya *Bank Cubic Meter (BCM)* atau kondisi tanah asli.

   - Volume Galian: Biasanya sudah dalam unit BCM.
   - Volume Timbunan: Harus dikonversi dari kondisi padat (CCM) kembali ke BCM menggunakan faktor susut (*shrinkage factor*).

     Rumus Konversi:

     $$V_B = V_C \times \left(\frac{100\%}{100\% - \%Shrinkage}\right)$$

3. Perhitungan Akumulasi Aljabar
   Diagram massa dibuat dengan menjumlahkan volume galian dan timbunan secara kumulatif di sepanjang jalur proyek (dari stasiun awal hingga akhir).
   - Galian (*Cut*): Diberi nilai positif (+) karena menambah ketersediaan material [Bab 14 Draft].
   - Timbunan (*Fill*): Diberi nilai negatif (-) karena mengurangi ketersediaan material.
   - Nilai Kumulatif: Jumlahkan hasil neto (galian dikurangi timbunan) dari setiap segmen secara berurutan.
4. Plotting pada Grafik
   Setelah mendapatkan nilai kumulatif untuk setiap stasiun, plot nilai tersebut pada grafik dengan ketentuan sebagai berikut:
   - Sumbu X: Menunjukkan lokasi stasiun atau jarak proyek,
   - Sumbu Y: Menunjukkan akumulasi volume material (BCM).
5. Interpretasi dan Analisis Kurva
   Berdasarkan bentuk kurva yang dihasilkan, seorang *engineer* dapat melakukan analisis operasional:
   - Kurva Naik: Menunjukkan area di mana sedang terjadi galian (*cut*) .
   - Kurva Turun: Menunjukkan area di mana sedang terjadi timbunan (*fill*).
   - Titik Puncak/Lembah: Menunjukkan titik transisi antara galian dan timbunan.
   - Garis Keseimbangan (*Balance Line*): Garis horizontal yang memotong kurva. Jarak antara dua titik potong pada garis ini menunjukkan area di mana volume galian dapat menutupi kebutuhan timbunan secara sempurna .

Fungsi Utama Diagram Massa

Dengan menghitung diagram ini, pengelola proyek dapat :

1. Menentukan jarak angkut rata-rata (*average haul distance*).
2. Mengidentifikasi lokasi *Borrow Pit* (jika kekurangan tanah) dan *Disposal Area* (jika kelebihan tanah).
3. Meminimalkan biaya pengangkutan dengan mengatur strategi pemindahan tanah yang paling pendek jaraknya.

BAB 15
MANAJEMEN PROYEK DAN OPTIMASI ARMADA (FLEET MANAGEMENT)

15.1 PENDAHULUAN DAN FILOSOFI SISTEM

Dalam rekayasa pemindahan tanah mekanis (PTM), keberhasilan sebuah proyek tidak ditentukan oleh kinerja unit alat berat secara individual, melainkan oleh efisiensi sistem alat secara keseluruhan. Manajemen proyek *earthwork* didefinisikan sebagai proses perencanaan, pengorganisasian, dan pengendalian sumber daya untuk mencapai tujuan proyek secara efektif. *Fleet Management* (Manajemen Armada) merupakan inti dari operasional ini, di mana sekumpulan alat berat dikelola sebagai satu kesatuan sistem yang sinkron guna memaksimalkan *output* kerja dan meminimalkan biaya operasional.

Kondisi lapangan yang kompleks sering kali memicu fenomena *mismatch equipment* atau ketidakseimbangan sistem, seperti ekskavator yang menunggu truk (*idle*) atau antrean truk yang terlalu lama di area pemuatan. Hal ini berdampak langsung pada penurunan produktivitas, pemborosan konsumsi bahan bakar, dan peningkatan biaya per unit material.

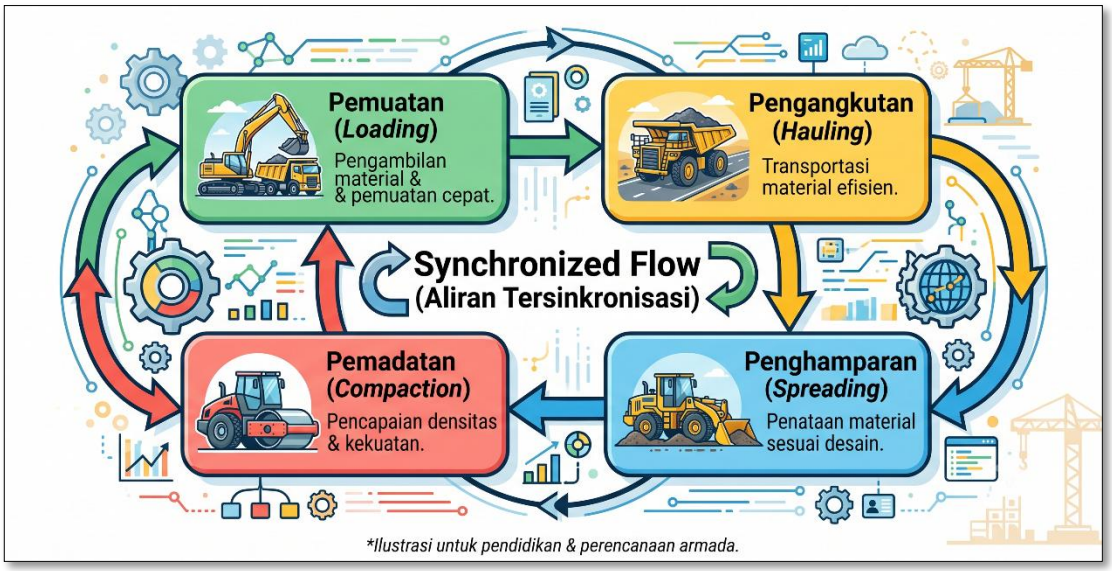
15.2 KONSEP MATCHING EQUIPMENT (PENYELARASAN ALAT)

Matching equipment adalah proses penyesuaian kapasitas dan produktivitas antar jenis alat berat agar tercipta sistem kerja yang seimbang. Tujuan utamanya adalah mengurangi waktu tunggu (*idle time*), mengoptimalkan biaya, dan memastikan target jadwal proyek tercapai.

Komponen Armada Earthwork

Dalam sebuah armada standar, peran setiap unit harus didefinisikan secara fungsional:

1. Unit Pemuat (*Loading Unit*): Ekskavator atau *Wheel Loader* yang menggali dan mengisi material.
2. Unit Pengangkut (*Hauling Unit*): *Dump Truck* yang memindahkan material ke lokasi pembuangan.
3. Unit Penghampar (*Spreading Unit*): Buldozer atau *Motor Grader* yang meratakan material di area timbunan.
4. Unit Pemadat (*Compaction Unit*): *Compactor* atau *Roller* yang memadatkan lapisan tanah.



Gambar 15. 1 Ekosistem Produksi *Fleet Integrated*

15.3 ANALISIS KUANTITATIF: *MATCH FACTOR (MF)*

Untuk menghindari ketidakseimbangan armada, digunakan parameter numerik yang disebut *Match Factor* (MF). Formula ini menyelaraskan laju pemuatan unit primer dengan laju pengangkutan unit sekunder.

Rumus Match Factor:

$$MF = \frac{N_{truck} \times n \times CT_{loader}}{N_{loader} \times CT_{truck}}$$

Di mana:

N_{truck} : Jumlah truk yang aktif bekerja.

N : Jumlah pengisian *bucket* ekskavator untuk mengisi satu bak truk.

CT_{loader} : Waktu siklus unit pemuat.

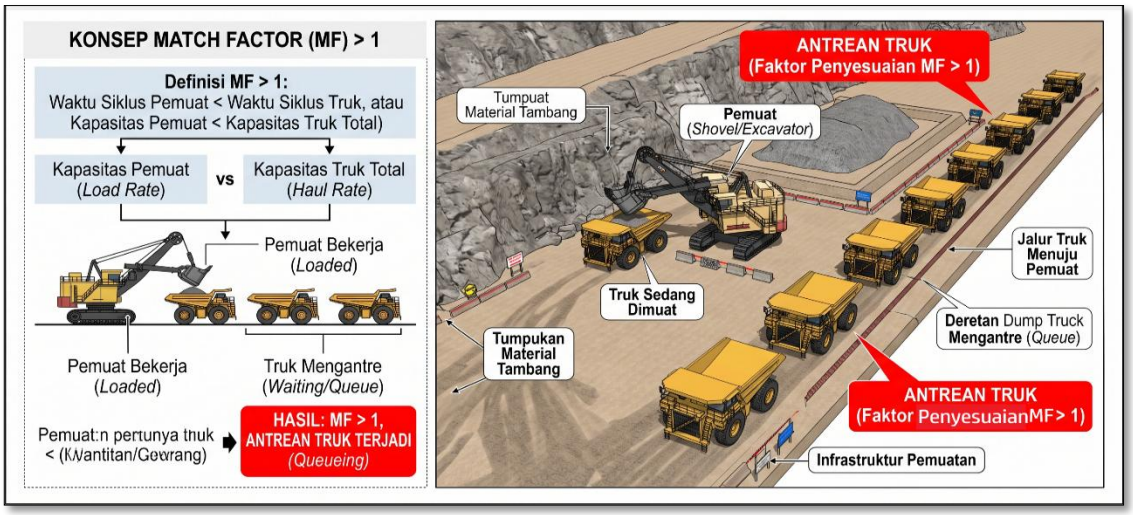
CT_{truck} : Waktu siklus unit pengangkut.

Interpretasi Hasil MF:

$MF < 1$: Kapasitas angkut kurang. Ekskavator akan mengalami waktu menganggur (*window time*) menunggu truk datang.

$MF = 1$: Keseimbangan sempurna. Tidak ada waktu tunggu di kedua belah pihak.

$MF > 1$: Kapasitas angkut berlebih. Terjadi antrean truk (*hanging time*) di lokasi pemuatan.



Gambar 15.2 Deretan Dump Truck yang Mengantre

15.4 OPTIMASI WAKTU SIKLUS (CYCLE TIME OPTIMIZATION)

Produktivitas armada sangat sensitif terhadap perubahan waktu siklus. *Cycle time* truk dipengaruhi oleh jarak angkut (*haul distance*), kondisi jalan angkut (*haul road*), dan efisiensi di area pembuangan.

Strategi Pengurangan Bottleneck

Bottleneck atau leher botol terjadi pada unit dengan kapasitas paling rendah dalam sistem. Engineer harus mampu mengidentifikasi unit ini dan melakukan intervensi teknik, seperti:

1. Perbaikan Haul Road: Mengurangi *rolling resistance* untuk mempercepat waktu tempuh truk.
2. Manajemen Drainase: Mencegah truk selip saat musim hujan yang dapat menurunkan produksi hingga 35%.
3. Pengaturan Jadwal**:** Implementasi jadwal pemuatan malam hari untuk menghindari kemacetan di jalur proyek.

15.5 CONTOH ANALISIS ENGINEERING (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Penentuan Jumlah Truk Ideal

Sebuah ekskavator memiliki waktu muat (*Loading Time*) 2 menit per truk. Waktu siklus total truk (*Cycle Time*) menuju lokasi *disposal* dan kembali adalah 10 menit. Berapakah jumlah truk *(N)* yang dibutuhkan agar ekskavator tidak *idle*?.

Jawaban:

$$N = \frac{Cycle\ Time\ Truck}{Loading\ Time}$$

$$N = \frac{10}{2} = \mathbf{5\ Unit\ Truck}$$

Contoh Soal 2: Analisis Match Factor (MF)

Dalam sebuah proyek tambang, digunakan 1 unit ekskavator PC-400 melayani 8 unit truk. Waktu siklus ekskavator adalah 0,5 menit dan dibutuhkan 4 kali pengisian untuk satu truk. Waktu siklus truk total adalah 18 menit. Hitung nilai MF dan analisis kondisinya.

Jawaban:

1. $n \times CT_{loader} = 4 \times 0{,}5 = 2$ Menit (Loading Time)
2. $MF = \frac{8\times2}{1\times18} = \frac{16}{18} = \mathbf{0,89}$

Karena $MF < 0{,}89$, artinya armada kekurangan truk. Ekskavator akan sering menganggur menunggu truk datang.

Contoh Soal 3: Dampak Kerusakan Jalan terhadap Produktivitas

Kondisi awal armada menghasilkan 120 m³/jam. Akibat hujan, jalan rusak sehingga *cycle time* truk meningkat dari 10 menit menjadi 15 menit. Berapakah produktivitas sistem yang baru?

Jawaban:

1. Penurunan efisiensi: $\$10 \,/\, 15 \;=\; 0{,}66\$$.
2. Produksi baru: $120\ x\ 0{,}66\ 79{,}2\ m3/jam.$
   Kesimpulan: Terjadi penurunan produksi sekitar 34% akibat faktor medan.

Contoh Soal 4: Kapasitas Vessel vs Kapasitas Muat

Berapa kali pengisian (*n*) yang diperlukan jika truk memiliki kapasitas bak 15 m³ dan ekskavator memiliki kapasitas *bucket* 2,5 m³ dengan *bucket factor* 0,9?.

Jawaban:

1. Kapasitas Muat Per Siklus: $2{,}5 \times 0{,}9 = 2{,}25\ \mathrm{m}^3$
2. $n = \frac{15}{2{,}25} = 6{,}67 \approx \mathbf{7\ kali\ pengisian}$

Contoh Soal 5: Analisis Biaya Satuan Fleet Mismatch

Biaya operasional armada adalah Rp 2.000.000/jam. Jika sistem seimbang menghasilkan 100 m³/jam, namun karena *mismatch* hanya tercapai 80 m³/jam, berapakah kenaikan biaya per m³ material?

Jawaban:

1. Biaya ideal: $2.000.000 \,/\, 100 \;=\; \mathrm{Rp}\ 20.000/\mathrm{m}^3$.
2. Biaya aktual: $2.000.000 \,/\, 80 \;=\; \mathrm{Rp}\ 25.000/\mathrm{m}^3$.
3. Kenaikan biaya: $\mathrm{Rp}\ 5.000\ (25\%)$.

15.6 PENERAPAN TEKNOLOGI DIGITAL DALAM MANAJEMEN ARMADA

Konstruksi modern kini mengadopsi sistem digital untuk memantau performa fleet secara *real-time*.

- Sistem Telematika: Melacak lokasi unit, konsumsi bahan bakar, dan jam kerja alat efektif melalui sensor IoT.

- Digital Dashboard: Visualisasi data produktivitas aktual vs rencana untuk pengambilan keputusan cepat di lapangan.
- Building Information Modeling (BIM): Digunakan untuk simulasi jalur *hauling* terbaik dan analisis volume galian-timbunan secara presisi.



Gambar 15.3 Control Dashboard *Fleet Management*

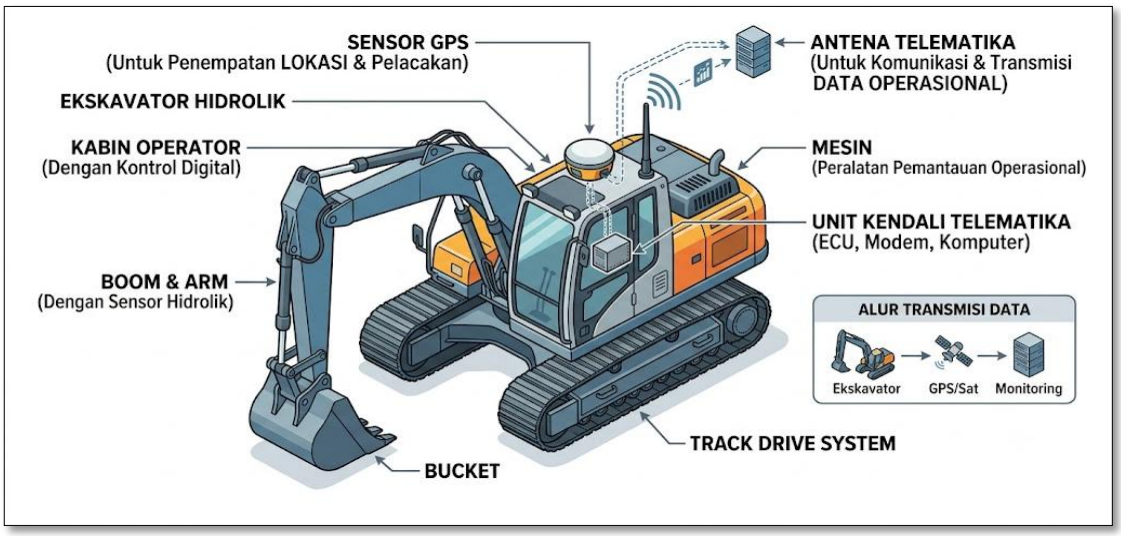
15.7 KESIMPULAN BAB 15

Manajemen armada bukan sekadar menghitung jumlah unit, melainkan seni menyinkronkan waktu dan kapasitas antar alat. Keseimbangan armada melalui analisis *Match Factor* adalah kunci untuk meniadakan waktu tunggu tidak produktif dan menekan biaya operasional seminimal mungkin. Di masa depan, integrasi AI akan semakin dominan dalam menentukan jalur angkut terbaik dan jumlah truk optimal secara otomatis.

Apendiks Bab 15



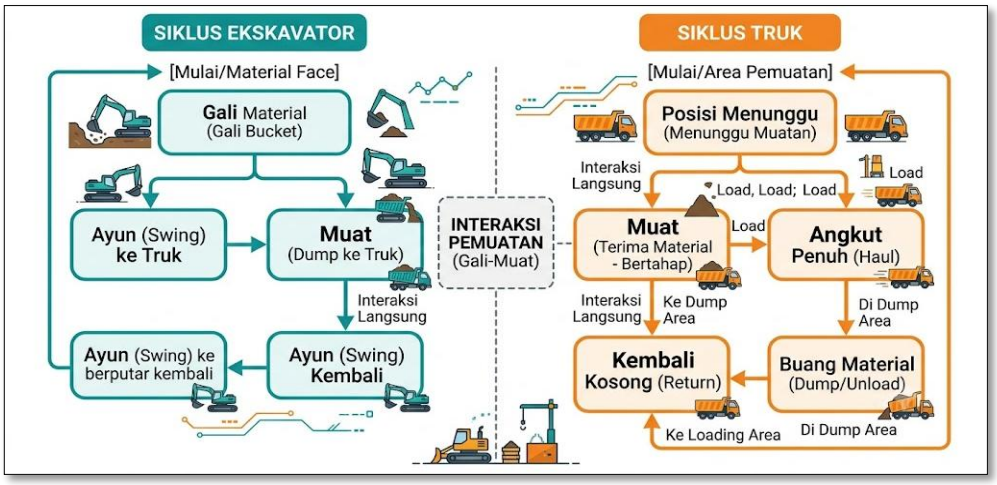
Gambar 15.4 Foto Udara Excavator



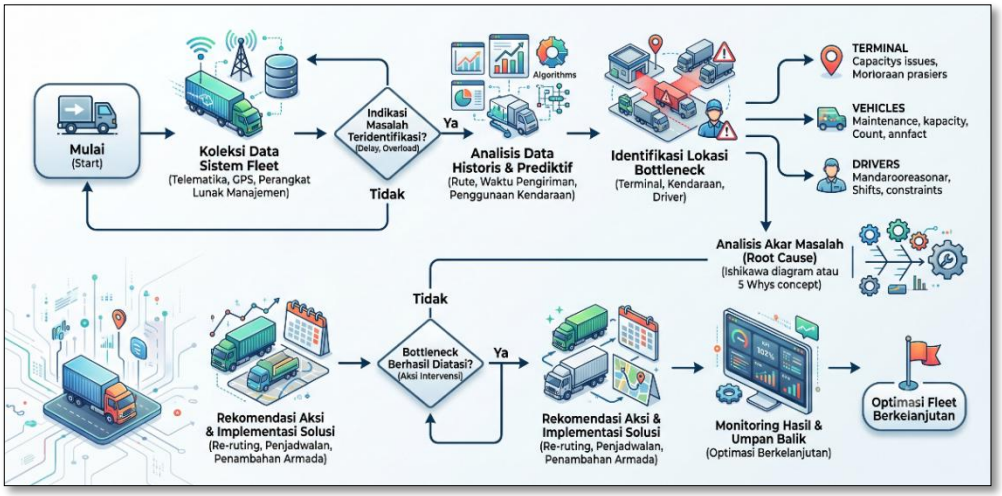
Gambar 15.5 Alat Berat Dengan Sistem Telematika dan GPS



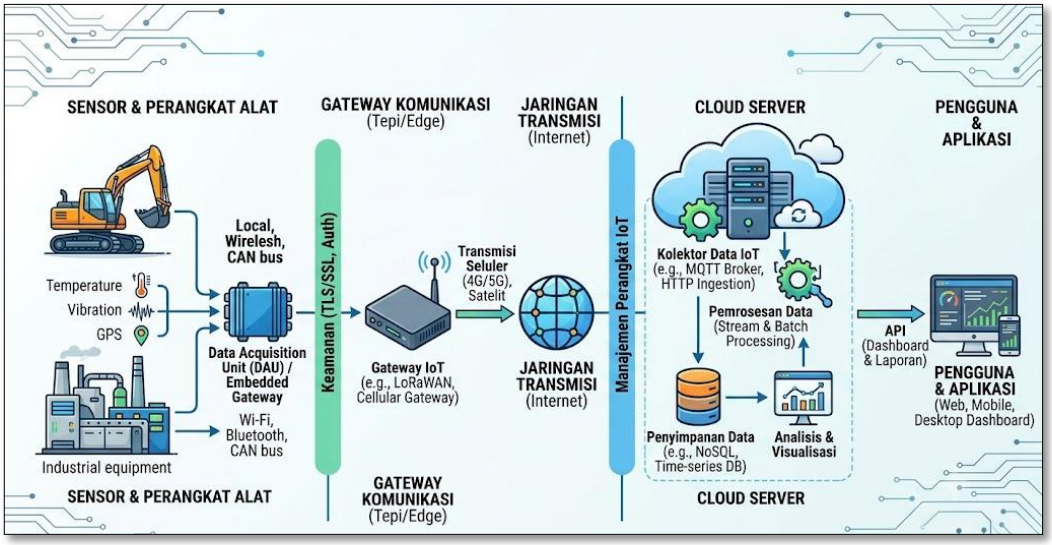
Gambar 15. 6 Ruang Pusat Kendali *(Control Room)*



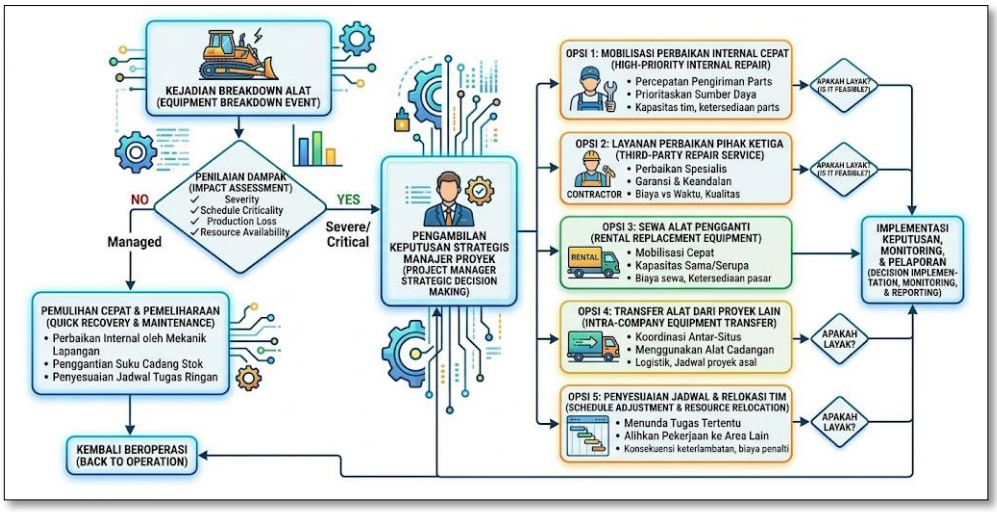
Gambar 15.7 Diagram Alir Siklus Kerja Gabungan



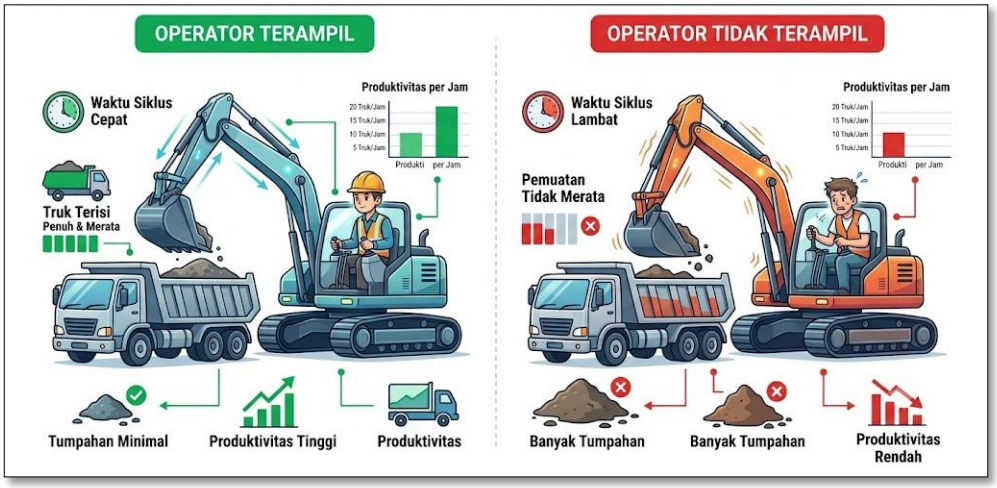
Gambar 15.8 Mekanisme Penentuan Bottle Neck



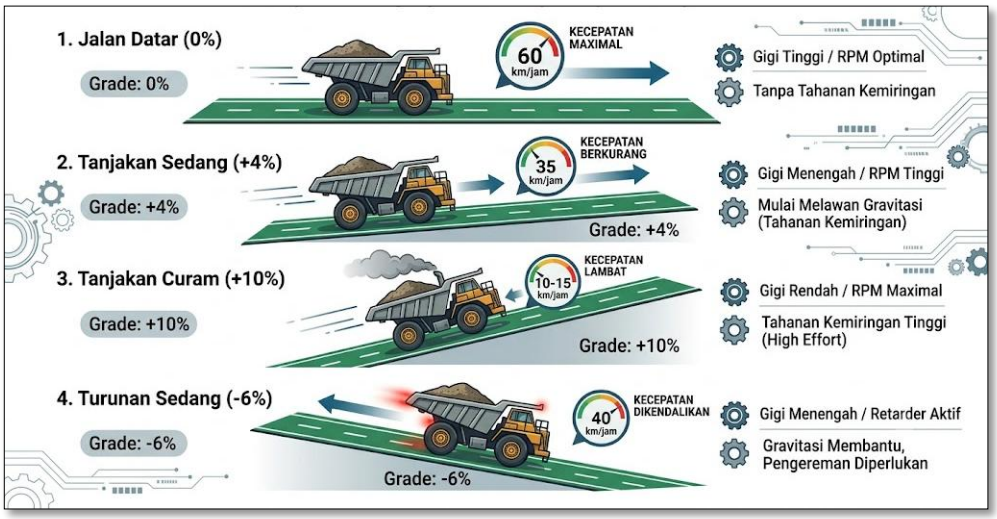
Gambar 15.9 Arsitektur Transmisi data Dari Sensor Alat ke Cloud Server



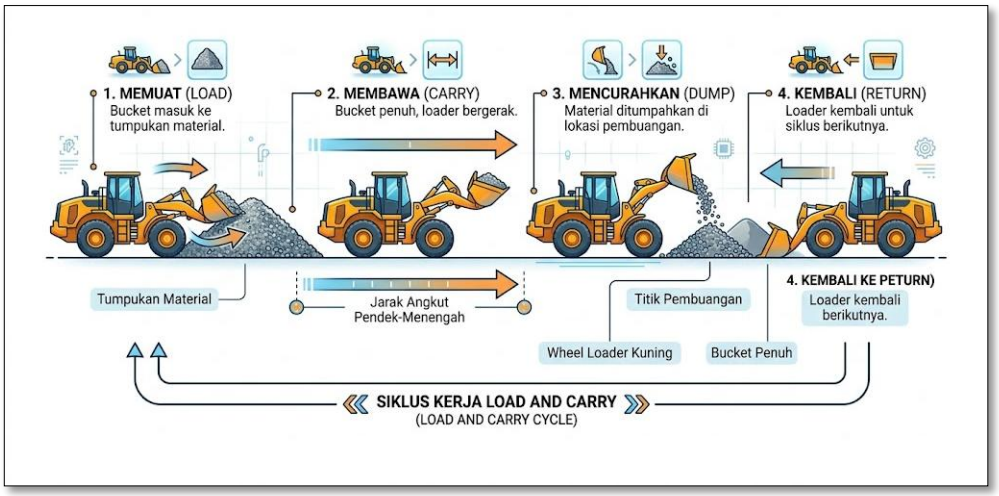
Gambar 15.10 Hierarki Pengambilan Keputusan



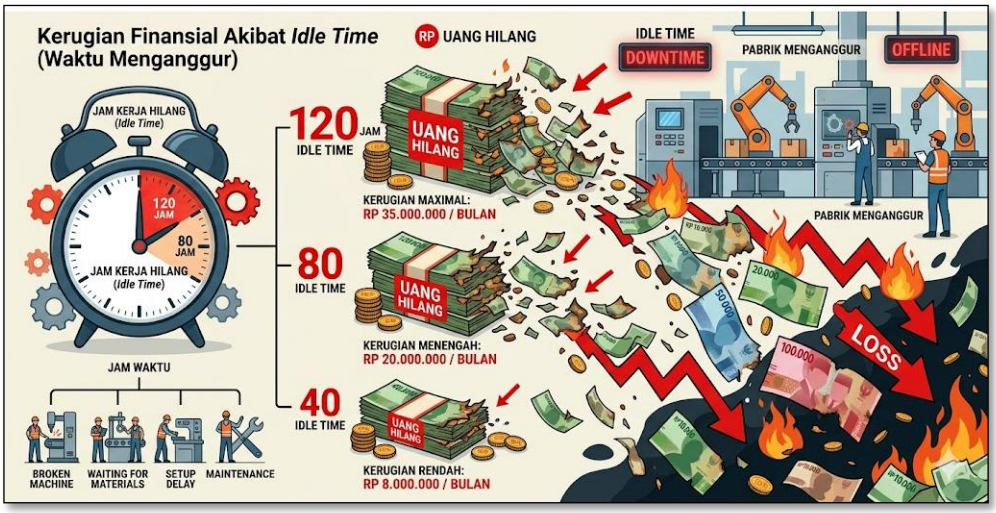
Gambar 15.11 Perbandingan Efisiensi Operator trampil vs tidak terampil



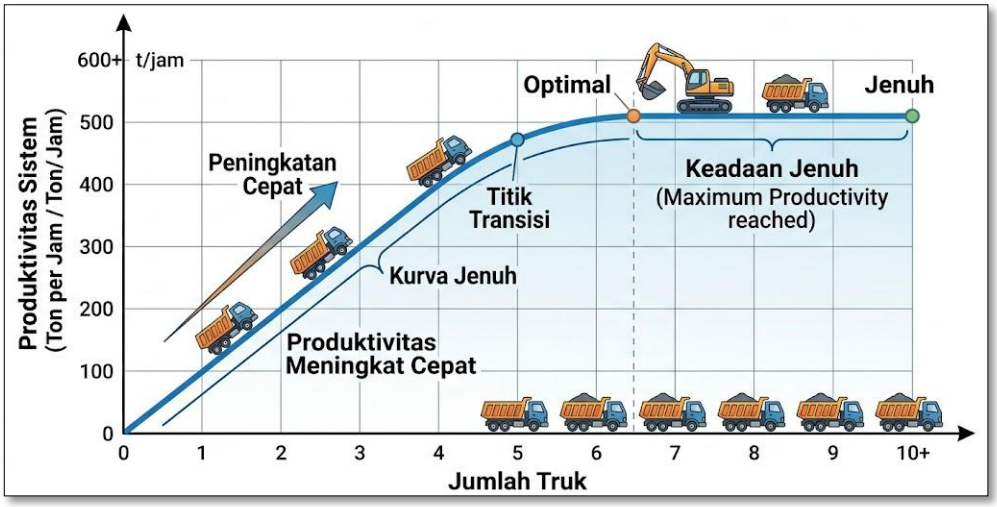
Gambar 15.12 Dampak Kemiringan Jalan Terhadap Kecepatan Tempuh



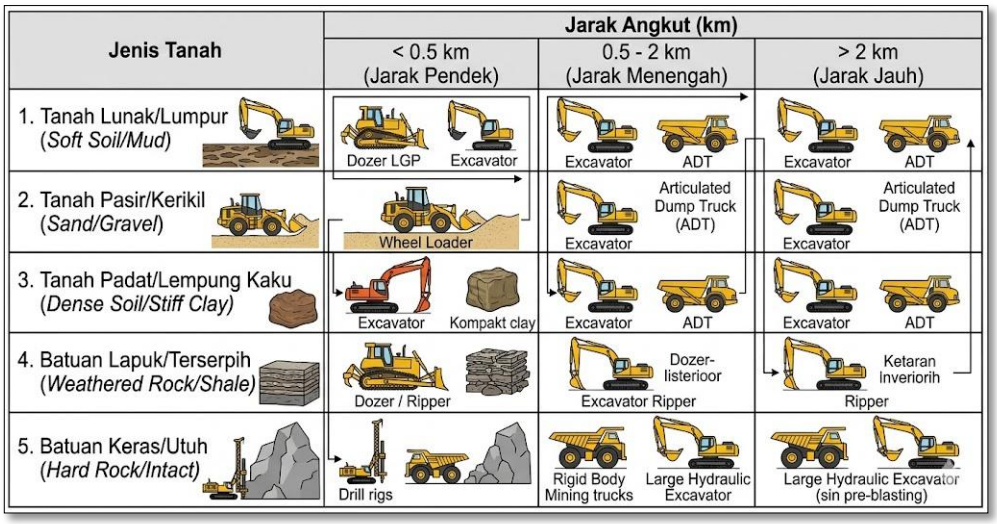
Gambar 15.13 Konsep Load and Carry



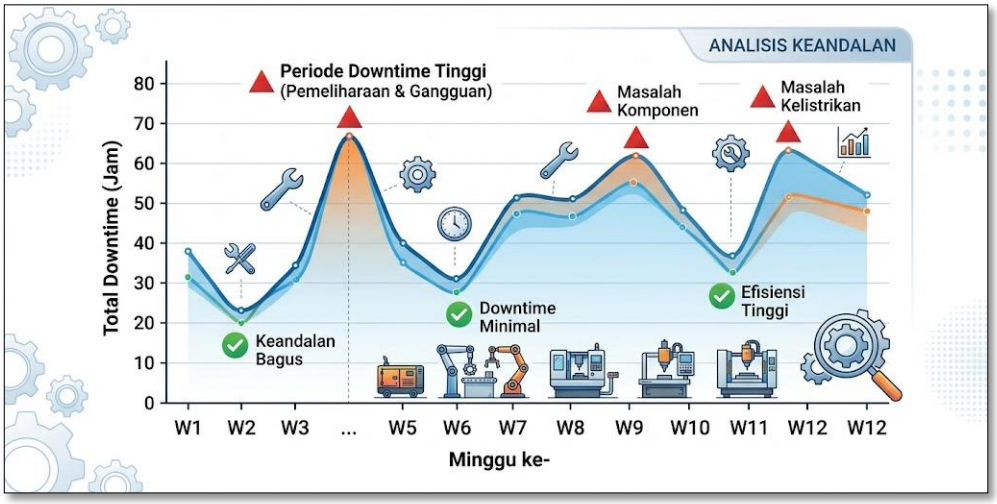
Gambar 15.14 Visualisasi Kerugian Finansial Akibat Idle Time



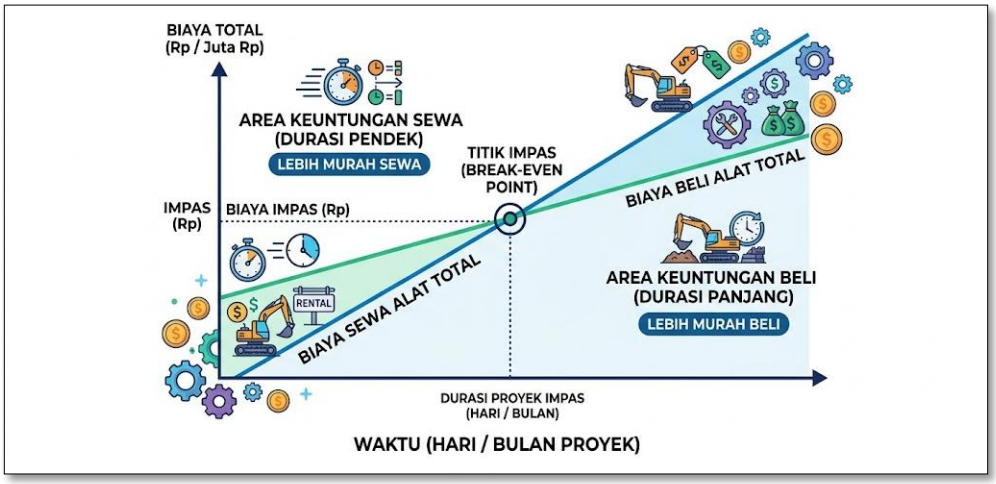
Gambar 15.15 Grafik Hubungan Antara Jumlah Truk dengan Produktivitas



Gambar 15.16 Matriks Pemilihan Alat Berat



Gambar 15.17 Grafik tren Downtime Mingguan



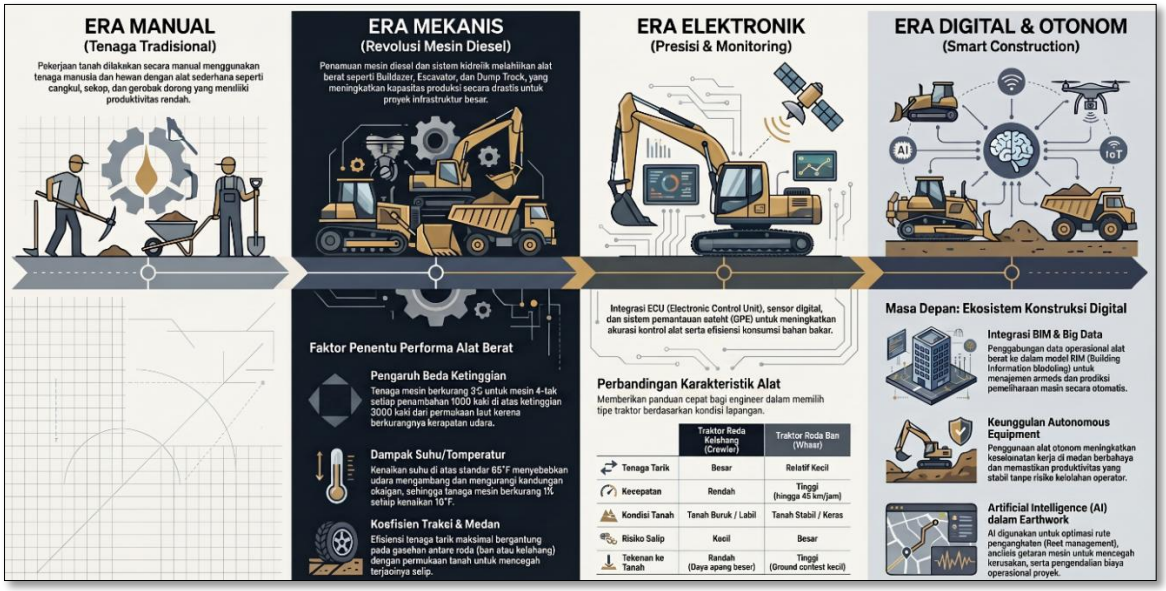
Gambar 15.18 Diagram BEP Alat Sewa vs Beli

BAB 16
MASA DEPAN PTM: DIGITALISASI DAN *DIGITAL CONSTRUCTION*

16.1 PENDAHULUAN: PARADIGMA BARU KONSTRUKSI CERDAS

Dunia konstruksi sedang mengalami perubahan yang sangat cepat dalam beberapa dekade terakhir. Jika pada masa lalu pekerjaan pemindahan tanah mekanis (PTM) hanya mengandalkan kemampuan operator, pengalaman lapangan, dan pengamatan visual, maka saat ini industri telah memasuki era *Smart Construction.* Era ini ditandai dengan pekerjaan alat berat yang berkembang menjadi sistem operasi berbasis digital, otomatisasi, sensor, satelit, dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*).

Pada proyek mega infrastruktur modern seperti jalan tol, bendungan, dan kawasan industri, alat berat tidak lagi dipandang sebagai mesin mekanis murni, melainkan sebagai bagian dari ekosistem digital yang saling terhubung secara *real-time*. Perubahan ini menuntut seorang *engineer* masa depan untuk tidak hanya memahami operasi konvensional, tetapi juga menguasai analisis data, manajemen armada digital, dan integrasi teknologi pada setiap aspek pekerjaan tanah.



Gambar 16. 1 Alur Evolusi Teknologi Pekerjaan Tanah

16.2 TRANSFORMASI TEKNOLOGI ALAT BERAT: DARI MANUAL KE DIGITAL

Evolusi peralatan konstruksi bergerak dari sistem mekanis sederhana menuju sistem elektronik canggih.

16.2.1. Keterbatasan Generasi Awal

Pada generasi awal, sistem kontrol alat dilakukan sepenuhnya secara manual di mana produktivitas sangat bergantung pada keterampilan individu operator. Kelemahan sistem ini

mencakup akurasi kerja yang rendah, konsumsi bahan bakar yang tidak efisien, serta sulitnya melakukan pemantauan progres secara presisi.

16.2.2. Inovasi Generasi Modern

Alat berat modern saat ini telah dilengkapi dengan *Electronic Control Unit (ECU)* canggih yang terintegrasi dengan sensor digital. Teknologi ini mencakup:

- *Automatic Machine Guidance*: Memberikan panduan otomatis pada *blade* atau *bucket* berdasarkan desain digital.
- *Satellite Tracking*: Pemantauan posisi alat secara presisi menggunakan GPS.
- *Hydraulic Control System*: Pengaturan tekanan oli secara otomatis untuk efisiensi bahan bakar maksimal dan produktivitas tinggi.



Gambar 16.2 Dashboard Kontrol Digital pada Kabin Ekskavator Modern

16.3 *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM) DALAM PEKERJAAN TANAH

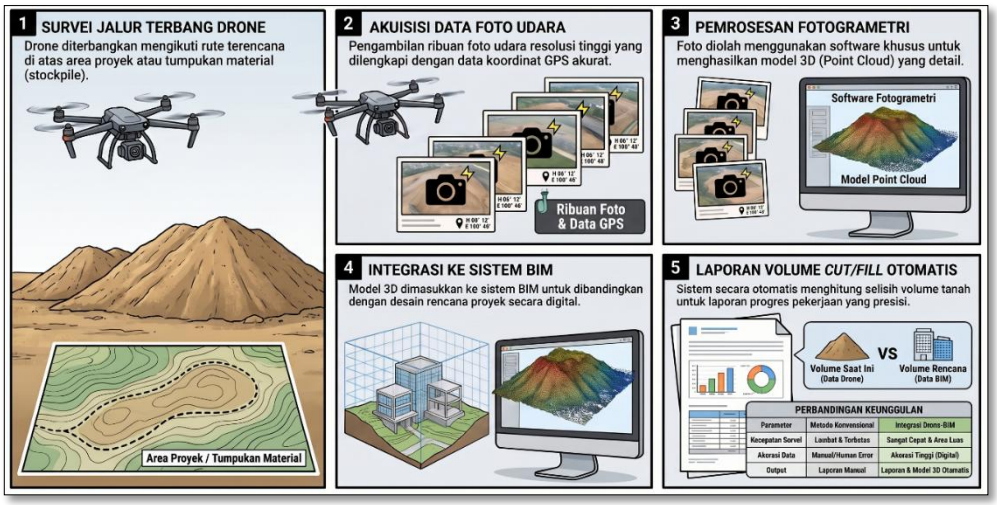
BIM merupakan standar utama dalam konstruksi modern yang mengintegrasikan seluruh data proyek dalam satu model digital 3D.

16.3.1. Aplikasi BIM pada Earthwork

Dalam lingkup PTM, BIM digunakan untuk melakukan simulasi *cut and fill*, perencanaan rute pengangkutan (*hauling*) yang paling optimal, serta analisis volume tanah secara akurat. Integrasi ini memungkinkan pendeteksian konflik desain lebih awal sehingga meminimalkan kesalahan perhitungan dan pengerjaan ulang (*rework*) di lapangan.

16.3.2. Sinergi dengan Drone dan Fotogrametri

Penggunaan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* atau drone menjadi pasangan tak terpisahkan dari BIM. Drone mampu melakukan survei topografi pada area luas dengan cepat dan akurat, menghasilkan model 3D melalui perangkat lunak fotogrametri untuk menghitung volume timbunan (*stockpile*) secara otomatis.



Gambar 16.3 Integrasi Drone-BIM untuk Monitoring Volume

16.4 KECERDASAN BUATAN (AI) DAN *INTERNET OF THINGS* (IOT)

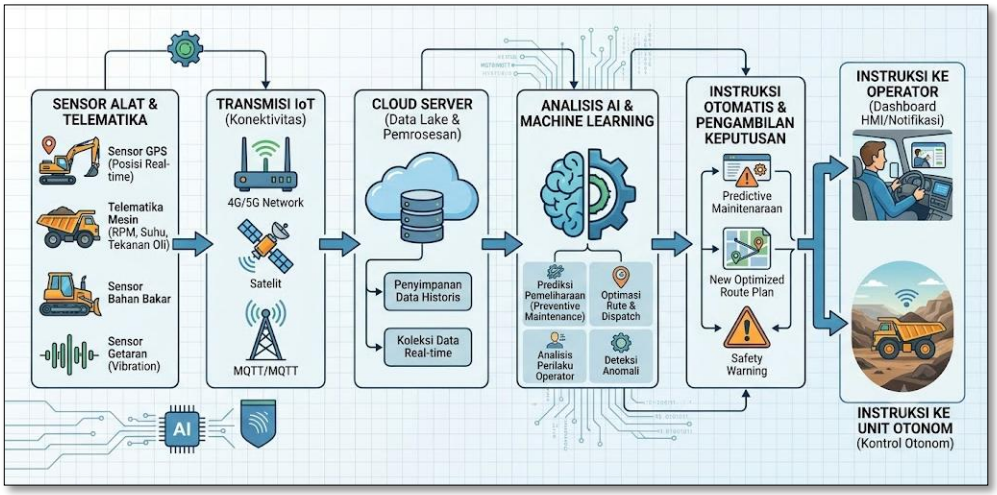
AI dan IoT memungkinkan alat berat untuk saling berkomunikasi dan mengambil keputusan secara mandiri.

16.4.1. Fleet Management System Berbasis AI

AI digunakan untuk melakukan optimasi armada konstruksi dengan menentukan jalur *hauling* terbaik dan jumlah truk yang paling seimbang untuk satu unit pemuat guna meminimalkan *idle time*. Sistem AI juga mampu menganalisis getaran mesin, suhu, dan tekanan hidrolik guna melakukan *Predictive Maintenance*, yaitu memprediksi kerusakan sebelum kegagalan mekanis terjadi.

16.4.2. Fungsi IoT dan Digital Twin

IoT menghubungkan seluruh unit alat berat ke jaringan internet untuk pengiriman data otomatis. Data ini kemudian digunakan untuk membuat *Digital Twin*, yaitu representasi digital yang mencerminkan kondisi lapangan secara nyata untuk simulasi operasi dan prediksi risiko proyek.



Gambar 16.4 Arsitektur Ekosistem AI dalam *Fleet Management*

16.5 ALAT BERAT OTONOM *(AUTONOMOUS EQUIPMENT)*

Teknologi otonom merupakan puncak dari digitalisasi konstruksi, di mana alat berat dapat bekerja dengan intervensi manusia minimal.

- *Autonomous Dump Truck*: Truk yang mampu bergerak di rute tambang/proyek tanpa pengemudi.
- *Robotic Dozer & Grader*: Alat yang melakukan perataan lahan berdasarkan koordinat digital secara presisi. Keunggulan sistem otonom meliputi operasional 24 jam non-stop, produktivitas yang stabil, serta peningkatan tingkat keselamatan kerja karena meminimalisir kesalahan manusia (*human error*).

ILUSTRASI 16.1: Operasi Koordinasi Antar Alat Otonom



Gambar 16.5 Operasi Koordinasi Antar Alat Otonom

16.6. GREEN CONSTRUCTION DAN KEBERLANJUTAN *(SUSTAINABILITY)*

Pekerjaan tanah memiliki dampak lingkungan yang signifikan, mulai dari emisi karbon hingga potensi erosi. Konstruksi modern kini beralih menuju prinsip ramah lingkungan.

16.6.1. Dekarbonisasi melalui Alat Listrik

Masa depan alat berat mengarah pada penggunaan *Electric Heavy Equipment*, seperti ekskavator listrik, dozer hibrida, dan alat bertenaga baterai lainnya guna mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan emisi karbon.

16.6.2. Strategi Manajemen Armada Hijau

Implementasi teknologi digital terbukti mampu menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 15% melalui optimalisasi rute dan pengurangan waktu menganggur mesin (*engine idling*). Selain itu, reklamasi lahan dan pengelolaan air berkelanjutan menjadi bagian integral dari siklus PTM modern.

Tabel 16.1 Perbandingan Dampak Lingkungan: Konvensional vs. Green Construction

Parameter	Sistem Konvensional	Green Construction (Modern)
Bahan Bakar	Diesel Murni (Emisi Tinggi)	Listrik/Hibrida (Rendah Emisi)
Efisiensi Rute	Berdasarkan Intuisi	Optimasi AI (Minim Konsumsi)
Monitoring Progres	Manual (Waktu Lama)	Drone/Real-time (Efisien)
Pengelolaan Limbah	Kurang Terencana	Berbasis Data Keberlanjutan

(Sumber: Diolah dari referensi)

16.7 CONTOH ANALISIS ENGINEERING DI ERA DIGITAL (HITUNGAN DAN JAWABAN)

Contoh Soal 1: Efisiensi Waktu Survey Digital

Sebuah proyek jalan tol memerlukan survei topografi seluas 500 hektar. Jika dilakukan dengan metode manual (*theodolite*), kecepatan survei adalah 5 hektar/hari dengan tim beranggotakan 4 orang. Jika menggunakan Drone, area tersebut dapat dipetakan dalam 2 hari dengan tim 2 orang. Hitung persentase peningkatan produktivitas waktu kerja.

Jawaban:

1. $Waktu\ Manual = 500 : 5 = 100\ hari$
2. $Waktu\ Drone : 2\ Hari$
3. $Peningkatan$

$$\frac{100 - 2}{100} \times 100\% = \mathbf{98}\%$$

Analisis: Digitalisasi mempercepat proses survei secara drastis.

Contoh Soal 2: Penghematan BBM pada Dozer Hibrida

Unit dozer konvensional mengonsumsi solar 25 liter/jam. Unit dozer hibrida dengan kapasitas sama mampu menghemat BBM sebesar 20% berkat sistem kontrol ECU. Jika harga solar industri Rp 15.000/liter dan alat bekerja 2.000 jam/tahun, hitung penghematan biaya tahunan.

Jawaban:

1. $Konsumsi\ Hibrida : 25 \times (1 - 0{,}20) = 20\ \text{Liter/jam}$
2. $Penghematan\ per\ jam : (25 - 20) \times 15.000 = \text{Rp.}\ 75.000/\text{Jam}$
3. $Total\ Penghematan\ Tahunan : 2.000 \times 75.000 = \mathbf{Rp.\ 150.000.000}$

Contoh Soal 3: Akurasi Volume BIM vs Manual

Berdasarkan estimasi manual, volume galian adalah 12.000 m³. Namun, setelah dilakukan simulasi 3D melalui sistem BIM, volume aktual ditemukan sebesar 10.800 m³. Jika biaya galian Rp 50.000/m³, berapakah biaya pengerjaan ulang (*rework*) atau kelebihan bayar yang berhasil dihindari?

Jawaban:

1. $Selisih\ Volume : 12.000 - 10.800 = 1.200\ \text{m}^3$
2. $Potensi\ Penghematan : 1.200 \times 50.000 = \mathbf{Rp.\ 60.000.000}$

Kesimpulan: Akurasi digital mencegah kerugian finansial akibat kesalahan estimasi.

Contoh Soal 4: Optimasi Match Factor dengan AI

Sistem AI mendeteksi bahwa waktu siklus truk pengangkut menurun dari 20 menit menjadi 16 menit karena perbaikan jalan angkut (*haul road*). Berapakah jumlah truk optimal yang baru jika waktu pemuatan ekskavator adalah 4 menit?

Jawaban:

1. $N_{awal} = 20 : 4 = 5$ Unit
2. $N_{baru} = 16 : 4 = \mathbf{4\ Unit}$

Analisis: AI membantu manajer proyek untuk mengurangi jumlah unit truk yang tidak perlu (efisiensi biaya).

Contoh Soal 5: Analisis Penurunan Downtime (Predictive Maintenance)

Dengan sistem sensor AI, waktu kerusakan mendadak (*breakdown*) menurun dari 150 jam/tahun menjadi 30 jam/tahun. Jika produktivitas alat adalah 100 m³/jam dan keuntungan bersih adalah Rp 10.000/m³, hitung tambahan keuntungan akibat berkurangnya *downtime*.

Jawaban:

1. $Tambahan\ jam\ kerja\ produktif : 150 - 30 = 120$ jam
2. $Tambahan\ volume : 120 \times 100 = 12.000\ \mathrm{m}^3$
3. $Tambahan\ Keuntungan : 12.000 \times 10.000 = \mathbf{Rp.120.000.000}$

16.8 PERAN ENGINEER TEKNIK SIPIL DI MASA DEPAN

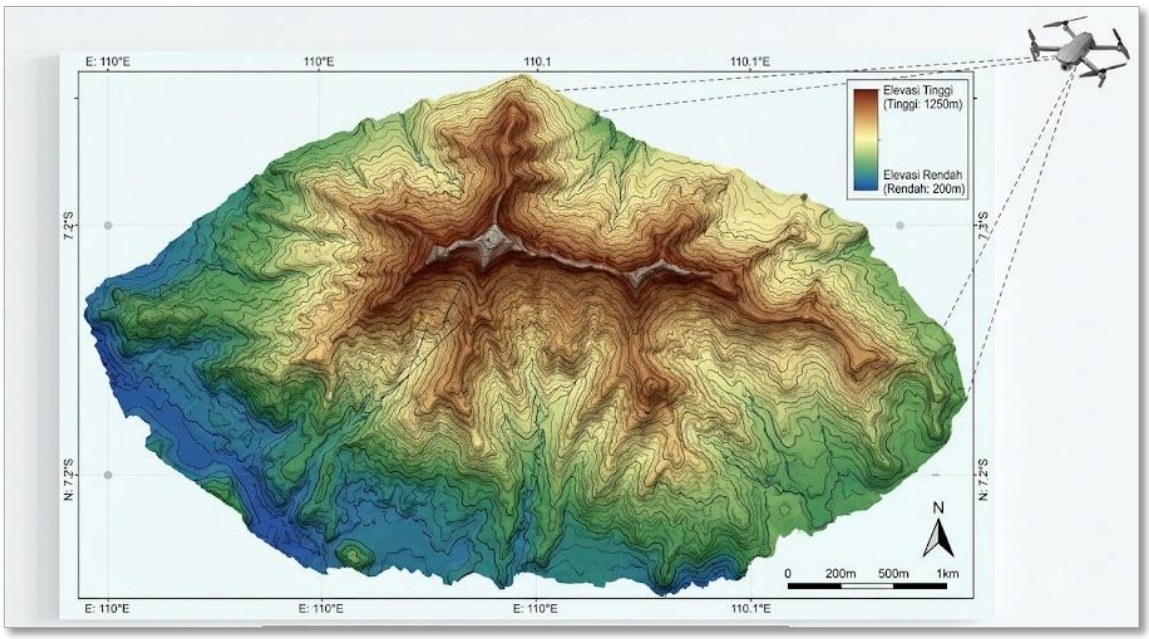
Transformasi digital mengubah peran *engineer* dari sekedar pelaksana proyek menjadi perencana strategis, inovator, dan pemimpin transformasi.

- Kompetensi yang Dibutuhkan: Mahasiswa harus menguasai kombinasi keahlian teknik sipil konvensional, analisis data besar (*big data*), pemodelan BIM, serta kecerdasan buatan.
- Kepemimpinan dan Etika: Teknologi hanyalah alat bantu; keputusan akhir tetap membutuhkan pengalaman, analisis mendalam, tanggung jawab profesional, dan integritas seorang *engineer*.
- Adaptabilitas: Mengingat kondisi geografis Indonesia yang kompleks dengan curah hujan tinggi, diperlukan *engineer* yang adaptif dan kompeten dalam mengintegrasikan teknologi modern dengan kondisi lokal.

16.9 RANGKUMAN

Masa depan pemindahan tanah mekanis bergerak menuju sistem konstruksi yang lebih cepat, akurat, efisien, dan ramah lingkungan. Digitalisasi melalui GPS, BIM, drone, dan AI bukan lagi sekadar pilihan melainkan kebutuhan mutlak untuk bersaing secara global. Mahasiswa teknik sipil harus mempersiapkan diri untuk menjadi profesional yang inovatif guna memimpin transformasi industri konstruksi masa depan.

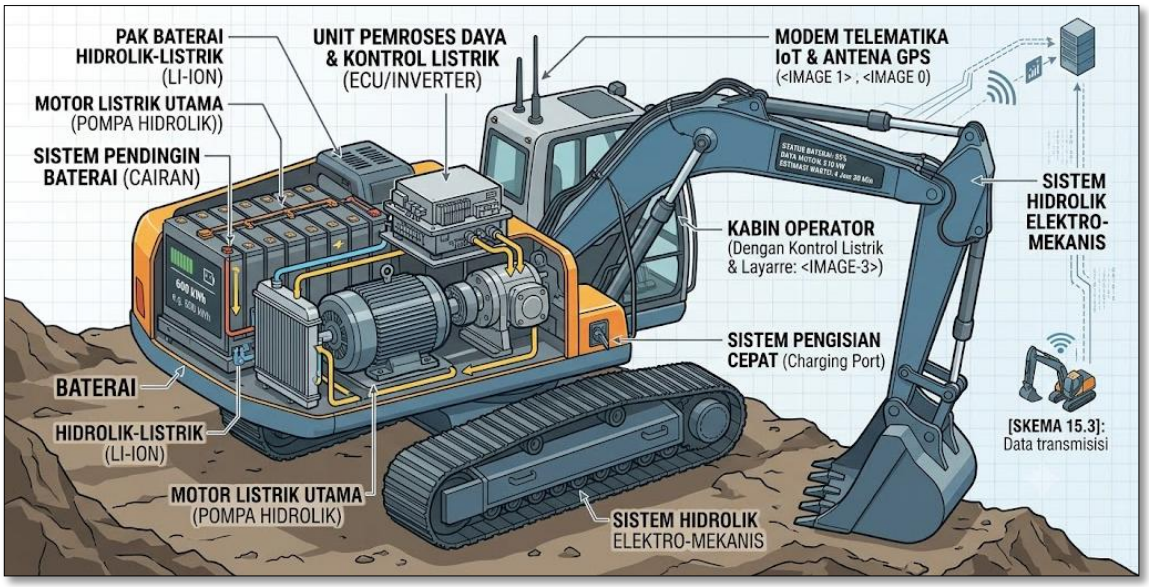
Daftar Kebutuhan Visual untuk Diktat (Apendiks Bab 16):



Gambar 16.6 Foto Udara (Drone Survey)



Gambar 16. 7 Unit Autonomous Dump Truck Tanpa Kabin Pengemudi Yang Sedang Beroperasi



Gambar 16.8 Penampang Alat Berat Bertenaga Listrik

DAFTAR PUSTAKA

Aly, Moh. Anas. (1982). *Analisa Biaya Peralatan dan Pekerjaan*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

Anisari, R. (2012). *Keserasian Alat Muat dan Angkut untuk Kecapaian Target Produksi Pengupasan Batuan Penutup pada PT. Adaro Indonesia Kalimantan Selatan*.

Anonim. (2003). *Pengenalan Produk Alat Berat*. Jakarta: Operational Training Department PT Pamapersada Nusantara.

Asiyanto. (2008). *Metode Konstruksi*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-PRESS).

Bangun, FTA. (2009). *Bagian I: Pengenalan Umum & Bagian VII: Biaya Alat-alat Berat. Diktat Kuliah Pengembangan Tanah Mekanik (PTM) dan Alat-alat Berat*. Medan: Departemen Teknik Sipil USU.

Burland, John J., Chapman T., Skinner H., & Brown M. (2012). *ICE Manual of Geotechnical Engineering Volume I: Geotechnical Engineering Principles, Problematic Soils and Site Investigation*. London: ICE Publishing.

Caterpillar. (1993/2009). *Handbook of Caterpillar / Caterpillar Performance Handbook*. Jakarta/Japan: Caterpillar Tractor Co.

Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering* (9th ed.). Australia: Cengage Learning.

Day, D. A. (1991). *Construction Equipment Guide* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.

Frick, Heinz. (1990). *Peralatan Pembangunan Konstruksi, Penggunaan dan Pemeliharaan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

Hartman, H. L. (1992). *SME Mining Engineering Handbook* (2nd ed.). Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.

Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock Slope Engineering*. London: Institution of Mining and Metallurgy, Taylor and Francis.

Indonesianto, Y. (2005). *Pemindahan Tanah Mekanis*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta.

Kalalo, B. G., Sibi, M., & Dundu, A. K. T. (2020). *Manajemen Alat Berat pada Pekerjaan Bendungan Lolak*.

Katalog Alat Berat Bina Marga. (2013). Jakarta: Kementerian PUPR.

Kementerian ESDM. (2018). *Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*.

Kholil, Ahmad. (2012). *Alat Berat*. Bandung: Penerbit PT. Remaja Rosdakarya.

Kliche, C. A. (2019). *Rock Slope Stability*. Littleton: SMME.

Komatsu. (2004/2009). *Komatsu Performance Handbook*. Japan: Komatsu Corp.

Kusrin. (2008). *Pemindahan Tanah Mekanis dan Alat Berat*. Semarang: Semarang University Press.

Natalia, D. (2021). *Penentuan Nilai Keserasian (Match Factor) untuk Optimalisasi Alat Berat pada Pekerjaan Pemindahan Tanah Penutup Pertambangan Batubara*.

Nichols, H. L. (1976). *Moving The Earth* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.

Nunnally, S. W. (1998). *Construction Methods and Management* (4th ed.). New Jersey: Prentice Hall.

O'Brien, J. J., Havers, J. A., & Stubbs Jr., F. W. (1996). *Standard Handbook of Heavy Construction*. New York: McGraw-Hill.

PEDC. (1984). *Alat Berat*. Bandung: Polytechnic Education Development Center.

Peurifoy, Robert L., et al. (1979/2007/2018). *Construction Planning, Equipment, and Methods*. New York/Tokyo: McGraw-Hill.

Prasmoro, A., & Hasibuan, S. (2018). *Optimasi Kemampuan Produksi Alat Berat Dalam Rangka Produktifitas Dan Keberlanjutan*.

Pratt, D. (1995). *Fundamentals of Construction Estimating*. New York: Delmar Publishers.

Ramadhan, Y., & Adi Kesuma, T. N. (2018). *Optimalisasi Penggunaan Alat Berat pada Pekerjaan Galian Tanah (Studi Kasus Proyek Perumahan Fortune Villa Graha Raya)*.

Read, J., & Stacey, P. (2009). *Guidelines For Open Pit Slope Design*. Leiden: CRC Press/Balkema.

Rochmanhadi. (1982/1984/1986/1987/1989/1990/1992/1996). *Alat-Alat Berat dan Penggunaannya*; *Perhitungan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan dengan Alat Berat*; *Pemindahan Tanah Mekanis*; *Analisa Gerak dan Waktu*; *Kapasitas dan Produksi Alat-alat Berat*. Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum (YBPPU).

Rostiyanti, Susy Fatena. (2002/2008/2014). *Alat Berat untuk Proyek Konstruksi*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.

Rumbyarso, Yonas Prima Arga. (2023). *Kajian Peralatan Berat pada Proyek Konstruksi*. Makassar: Mitra Ilmu.

Russel, J. E. (1985). *Construction Equipment*. Reston, Virginia: Reston.

Sartono, Andi. (2019). *Perbaikan Waktu Hambatan Dalam Upaya Pencapaian Target Pengupasan Tanah Penutup (Overburden)*.

Shaddad, A. R., Widodo, S., & Asmiani, N. (2016). *Analisis Keserasian Alat Mekanis (Match Factor) untuk Peningkatan Produktivitas*.

Shapiro, H. I., Sapiro, J. P., & Shapiro, L. K. (1991). *Cranes and Derricks* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.

Singh, J. (1993). *Heavy Construction: Planning, Equipment and Methods*. Rotterdam: AA Balkema.

Sjachdhirin, M. (1997). *Pengoperasian Alat Berat di Bidang Industri Konstruksi*. Jakarta: Universitas Tarumanagara.

Soedihardjo. (2000). *Diktat Kuliah Pemindahan Tanah Mekanis dan Alat Berat*. Semarang: Universitas Semarang.

Soemardikatmodjo, I. (2003). *Alat-alat Berat*.

Sujarweni, V. Wiratna. (2012). *Statistika untuk Penelitian*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.

Suryadharma, H., & Wigroho, H. Y. (1998). *Alat-alat Berat*. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya.

Training Centre PT Inta. *Catch me, Computer-Aided Training through Comprehensive and Hands-on Methods*. Jakarta: PT Inta.

United Tractors Tbk. (1998). *Handout Analisa Beban-Tenaga / Power Train*. Jakarta: Training Centre Dept. PT United Tractors.

Varma, M. (1992). *Construction Equipment and Its Planning and Application*. New Delhi: Metropolitan Book Co.

Wedhanto, S. (2009/2010). *Alat Berat dan Pemindahan Tanah Mekanis*. Malang: Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Malang.

Willie, D. C. (2018). *Rock Slope Engineering*. New York: CRC Press.

Wilopo, Djoko. (2009). *Metode Konstruksi dan Alat-alat Berat*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).

Zainuri, A. M. (2009). *Mesin Pemindah Bahan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.

Zulkarnain, Fahrizal. (2020). *Pemindahan Tanah Mekanis dan Peralatan Konstruksi*. Medan: UMSU Press.

PEMINDAHAN TANAH MEKANIS

Samsul Arifin, S.T., M.E., M.T.



Adalah Dosen Teknik Sipil Universitas Sains dan Teknologi Komputer (STEKOM), dan praktisi teknik sipil, entrepreneur, dan pendakwah. Ia aktif mengajar, meneliti, menulis, serta mengembangkan berbagai bisnis di bidang konstruksi, interior, dan pendidikan. Menyelesaikan Studi Teknik Sipil S1 dan S2 di Universitas Islam Sultan Agung melalui beasiswa Tahfidz Quran 30 Juz. Fokus keilmuannya meliputi green construction, pembangunan berkelanjutan, ekonomi syariah, serta pendidikan Al-Qur'an. Melalui karya-karyanya, ia berkomitmen menghadirkan integrasi antara profesionalisme, inovasi, dan nilai-nilai Islam untuk memberikan manfaat yang luas bagi masyarakat.

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 978-634-7695-34-5 (PDF)
9 786347 695345