

HEM : 09 / PERHITUNGAN PRODUKSI ALAT - ALAT BERAT

## MANAJER ALAT - ALAT BERAT (HEAVY EQUIPMENT MANAGER)



**DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM**  
**BADAN PEMBINAAN KONSTRUKSI DAN SUMBER DAYA MANUSIA**  
**PUSAT PEMBINAAN KOMPETENSI DAN PELATIHAN KONSTRUKSI**

## KATA PENGANTAR

Pada pekerjaan konstruksi dewasa ini selalu melibatkan alat-alat berat, terutama dalam menghadapi pekerjaan dengan volume yang besar dalam waktu pelaksanaan yang terbatas, dan perlu bila berhadapan dengan teknik pelaksanaan pekerjaan yang tidak mungkin lagi menggunakan tenaga manusia.

Salah satu faktor yang cukup penting dari penggunaan alat-alat berat ini adalah produksi alat-alat berat yang sejak perencanaan sudah dibutuhkan dalam merencanakan pelaksanaan suatu proyek secara keseluruhan. Sedangkan dalam masa pelaksanaan produksi tersebut dibutuhkan dalam evaluasi performansi alat-alat berat yang beroperasi di lapangan.

Produksi alat-alat berat tersebut dapat diperhitungkan berdasar data/spesifikasi alat-alat berat dan material/kondisi lapangan yang dihadapinya dan disamping itu perlu diperhitungkan kondisi-kondisi lainnya yang merupakan faktor yang dapat mempengaruhi perhitungan produksi tersebut.

Materi ini merupakan bahan yang masih memerlukan pengembangan lebih jauh dalam aplikasinya, sehingga semua saran dan masukannya sangat diharapkan untuk penyempurnaannya dimasa mendatang.

**P e n y u s u n**

## LEMBAR TUJUAN

### JUDUL PELATIHAN :

Manajer Alat-alat Berat

### TUJUAN UMUM PELATIHAN

Merencanakan dan mengorganisasikan pemeliharaan alat-alat berat secara teratur dan konsisten untuk memenuhi kesiapan dan pendayagunaan alat-alat berat sesuai dengan target yang telah ditentukan.

### TUJUAN KHUSUS PELATIHAN

1. Menyusun rencana pemeliharaan dan perbaikan untuk mencapai kesiapan alat-alat berat yang optimum.
2. Mengorganisasikan pelaksanaan pemeliharaan dan perbaikan alat-alat berat.
3. Melaksanakan evaluasi biaya setiap jenis alat-alat berat.
4. Memberikan rekomendasi aplikasi alat-alat berat.
5. Membuat laporan kesiapan alat-alat berat.

### MODUL NOMOR : 9 PERHITUNGAN PRODUKSI ALAT - ALAT BERAT

### TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM

Setelah selesai mengikuti pelatihan, peserta diharapkan memiliki pengetahuan tentang perhitungan produksi alat-alat berat khususnya alat-alat berat pemindah tanah.

### TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS

Setelah selesai mengikuti pelatihan, peserta mampu :

1. Menjelaskan faktor yang menentukan produksi alat-alat berat.
2. Menjelaskan perhitungan dasar produksi alat-alat berat.
3. Menerapkan perhitungan produksi setiap jenis alat-alat berat.

---

---

**DAFTAR ISI**

	<b>Halaman</b>
KATA PENGANTAR.....	i
LEMBAR TUJUAN .....	ii
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
DAFTAR MODUL.....	vi
PANDUAN INSTRUKTUR .....	vii
BAB I    PENDAHULUAN .....	1
A. Umum .....	1
B. Faktor yang Mempengaruhi Produksi Alat-alat Berat .....	1
C. Perhitungan Dasar Produksi Alat – Alat Berat .....	2
BAB II    PERHITUNGAN PRODUKSI TIAP JENIS ALAT – ALAT BERAT .....	3
A. Umum .....	3
B. Perhitungan Produksi Individual Alat .....	3
BAB III    KESEPADANAN / KOMBINASI ALAT – ALAT BERAT (FLEET AND MATCH) .....	33
A. Umum .....	33
B. Perhitungan Kesepadanan Operasi Alat-alat Berat .....	33
DAFTAR PUSTAKA .....	37

## DAFTAR TABEL

Nomor Tabel	Nama Tabel	Halaman
Tabel - 1	Faktor Blade	5
Tabel - 2	Efisiensi Kerja	7
Tabel - 3	Faktor Bucket (Loader)	12
Tabel - 4	Waktu Siklus Rata - Rata (dalam menit)	12
Tabel - 5	Waktu Tetap pada Loader	13
Tabel - 6	Kecepatan Wheel Loader (km/jam)	15
Tabel - 7.a	Faktor Bucket (Backhoe)	16
Tabel - 7.b	Faktor Bucket (Power Shovel)	16
Tabel - 8.a	Waktu Siklus Standar (Backhoe) (detik)	17
Tabel - 8.b	Waktu Siklus Standar (Shovel) (detik)	17
Tabel - 9	Faktor Konversi (Backhoe)	17
Tabel - 10	Koefisien/Faktor Tahanan Gelinding (Rolling Resistance)	21
Tabel - 11	Derajat Kelandaian	22
Tabel - 12	Faktor Kecepatan	23
Tabel - 13	Waktu dumping ( $t_1$ ) dan Waktu untuk mengatur posisi ( $t_2$ )	23
Tabel - 14	Lebar Blade Efektif	28
Tabel - 15	Efisiensi Kerja	29
Tabel - 16	Lebar Efektif	31
Tabel - 17	Jumlah Lintasan	31

**DAFTAR GAMBAR**

<b>Nomor Gambar</b>	<b>Nama Gambar</b>	<b>Halaman</b>
Gambar - 1	Grafik faktor kelandaian	6
Gambar - 2	Grafik produksi Bulldozer	8
Gambar - 3	Kurva Rimpull – Kecepatan Cat. 769D Off-Highway Dump Truck	26
Gambar - 4	Retarder Performance Caterpillar 769D Off-Highway	27

**DAFTAR MODUL**

<b>Nomor Modul</b>	<b>Kode</b>	<b>Judul</b>
1	HEM - 01	Keselamatan dan Kesehatan Kerja
2	HEM - 02	Tools, Special Tools dan Suku Cadang
3	HEM - 03	Bahan Bakar dan Pelumas
4	HEM - 04	Pengenalan Jenis, Fungsi dan Komponen Utama Alat – alat Berat
5	HEM - 05	Pemeliharaan dan Perbaikan Alat-alat Berat
6	HEM - 06	Teknik Aplikasi Alat-alat Berat
7	HEM - 07	Pengembangan Kompetensi Mekanik Alat-alat Berat
8	HEM - 08	Manajemen Proyek
9	HEM - 09	<b>Perhitungan Produksi Alat-alat Berat</b>
10	HEM - 10	Perhitungan Biaya Operasi dan Biaya Pemeliharaan

# **PANDUAN INSTRUKTUR**



<b>JUDUL :</b>	<b>PERHITUNGAN PRODUKSI ALAT – ALAT BERAT</b>	<b>KETERANGAN</b>
<b>KODE MODUL :</b>	<b>HEM – 09</b>	
<b>Deskripsi :</b>	Materi ini terutama membahas Perhitungan Produksi Alat-alat Berat, khususnya alat berat pemindah tanah yang meliputi: faktor yang mempengaruhi produksi, perhitungan dasar produksi, dan perhitungan produksi setiap jenis alat-alat berat.	
<b>Tempat Kegiatan:</b>	Dalam ruang kelas dengan kapasitas paling sedikit 25 orang.	
<b>Waktu Kegiatan:</b>	4 jam pelajaran teori (1 jp = 45 menit)	

KEGIATAN INSTRUKTUR	KEGIATAN PESERTA	PENDUKUNG
<p>1. <i>Ceramah : Pembukaan</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Menjelaskan tujuan instruksional (TIU &amp; TIK.)</i></li> <li>• <i>Merangsang motivasi peserta dengan pertanyaan atau pengalamannya dalam penerapan perhitungan produksi alat-alat berat.</i></li> </ul> <p><i>Waktu : 10 menit</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengikuti penjelasan TIU &amp; TIK dengan tekun dan aktif.</li> <li>• Mengajukan pertanyaan-pertanyaan apabila kurang jelas.</li> </ul>	OH <sub>1</sub>
<p>2. <i>Ceramah : Pendahuluan</i></p> <p><i>Manfaat perhitungan produksi, faktor yang mempengaruhi produksi, perhitungan dasar produksi alat-alat berat</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Menjelaskan pemanfaatan perhitungan produksi alat-alat berat.</i></li> <li>• <i>Menjelaskan faktor yang mempengaruhi produksi alat-alat berat.</i></li> <li>• <i>Menjelaskan perhitungan dasar produksi alat-alat berat.</i></li> <li>• <i>Mendiskusikan setiap pokok bahasan tersebut.</i></li> </ul> <p><i>Waktu : 20 menit</i> <i>Bahan : Materi Serahan (Bab Pendahuluan)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengikuti penjelasan instruktur dengan tekun dan aktif.</li> <li>• Mencatat hal-hal yang perlu.</li> <li>• Mengajukan pertanyaan bila perlu.</li> </ul>	OH <sub>2</sub>
<p>3. <i>Ceramah : Perhitungan produksi tiap jenis alat-alat berat</i></p> <p><i>Batasan pada alat-alat berat pemindah tanah, perhitungan produksi individual alat.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Menjelaskan perhitungan produksi bulldozer.</i></li> <li>• <i>Menjelaskan perhitungan produksi loader.</i></li> <li>• <i>Menjelaskan perhitungan produksi excavator.</i></li> <li>• <i>Menjelaskan perhitungan produksi Dump truck.</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengikuti penjelasan instruktur dengan tekun dan aktif.</li> <li>• Mencatat hal-hal yang perlu.</li> <li>• Mengajukan pertanyaan bila perlu.</li> </ul>	<p>OH<sub>3</sub>, OH<sub>4</sub>, OH<sub>5</sub></p> <p>OH<sub>6</sub>, OH<sub>7</sub>, OH<sub>8</sub></p> <p>OH<sub>9</sub>, OH<sub>10</sub>, OH<sub>11</sub></p> <p>OH<sub>12</sub>, OH<sub>13</sub>, OH<sub>14</sub>, OH<sub>15</sub></p>

KEGIATAN INSTRUKTUR	KEGIATAN PESERTA	PENDUKUNG
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menjelaskan perhitungan produksi motor grader.</li> <li>• Menjelaskan perhitungan produksi compactor.</li> <li>• Mendiskusikan setiap pokok bahasan tersebut.</li> </ul> <p>Waktu : 120 menit Bahan : Materi Serahan (Bab Perhitungan Produksi tiap Jenis Alat-alat Berat)</p>		<p>OH<sub>16</sub>, OH<sub>17</sub></p> <p>OH<sub>18</sub>, OH<sub>19</sub></p>
<p>4. Ceramah : Kesepadanan/ kombinasi alat-alat berat</p> <p>Hubungan kesepadanan operasi dengan efisiensi, perhitungan kesepadanan operasi alat-alat berat.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menjelaskan penentuan padanan operasi alat-alat berat dikaitkan dengan efisiensi.</li> <li>• Menjelaskan perhitungan kesepadanan alat pengangkut (dump truck) dan alat pemuat (loader).</li> <li>• Mendiskusikan setiap pokok bahasan tersebut.</li> </ul> <p>Waktu : 30 menit Bahan : Materi Serahan (Bab Kesepadanan/ Kombinasi Alat-alat Berat)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengikuti penjelasan instruktur dengan tekun dan aktif.</li> <li>• Mencatat hal-hal yang perlu.</li> <li>• Mengajukan pertanyaan bila perlu.</li> </ul>	<p>OH<sub>20</sub>, OH<sub>21</sub></p>

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. UMUM**

Sejalan dengan perkembangan pekerjaan konstruksi yang berkaitan dengan kemajuan teknologi, volume pekerjaan yang besar serta waktu pelaksanaan yang terbatas, maka peranan alat-alat berat dalam menunjang pekerjaan konstruksi tersebut menjadi sangat penting, bahkan dalam beberapa jenis pekerjaan kehadiran alat-alat berat tersebut nampak dominan sekali.

Pengadaan alat berat tersebut cukup mahal, sehingga tidak jarang untuk suatu pekerjaan konstruksi harus menginvestasikan dana yang cukup besar, sehingga memerlukan perhitungan yang matang baik dalam perencanaan, pengadaan dan pengoperasiannya.

Pada akhirnya setiap pengadaan alat-alat berat akan dikembalikan kepada produksi yang harus dihasilkan oleh alat-alat berat tersebut, yang selanjutnya bila dikonversikan kepada nilai uang, harus dapat menghasilkan suatu keuntungan sesuai dengan yang telah ditetapkan sebelumnya.

Dengan demikian perhitungan produksi alat-alat berat akan dapat bermanfaat pada saat penyusunan rencana pengadaan dan sebagai tools dalam mengevaluasi kinerja alat-alat yang sedang beroperasi, dan untuk itu segala bentuk perhitungan produksi tersebut harus merujuk kepada kondisi lapangan yang menyangkut kondisi kerja nyata yang dihadapi setiap alat-alat berat.

#### **B. FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PRODUKSI ALAT-ALAT BERAT**

Pada dasarnya produksi alat-alat berat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Kondisi/kemampuan alat, menyangkut kapasitas alat (daya, drawbar pull, rimpull dan sebagainya) dan kondisi alat (baik/baru, baik, dan rusak ringan)
2. Kapasitas Blade atau Bucket
3. Kondisi Material, seperti mudah digali, sedang, dan sulit
4. Kondisi medan, menyangkut ketinggian (altitude), temperatur
5. Waktu Siklus (Cycle Time), menyangkut fixed time dan variable time
6. Kondisi Kerja, siang atau malam
7. Faktor Operator, yang menyangkut keterampilan/skill

**C. PERHITUNGAN DASAR PRODUKSI ALAT – ALAT BERAT**

Walaupun dalam menghitung produksi setiap jenis alat-alat berat akan tergantung pada karakteristik dari jenis alat itu sendiri, misalnya kapasitas bucket, waktu siklus dan sebagainya, namun secara umum rumus perhitungannya sama yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Produksi (Q)} &= \text{Produksi setiap siklus} \times \text{Jumlah siklus perjam} \times \text{Faktor Efisiensi} \\ &= q \times C_m \times E \text{ (m}^3\text{/jam, ton/jam, m}^2\text{/jam)} \end{aligned}$$

dimana :

- q = Produksi setiap siklus, tergantung dari:
- kapasitas blade/bucket yaitu berdasar jenis dan tipe alat-alat berat
  - faktor blade/bucket yang sangat dipengaruhi oleh jenis material
- $C_m$  = Jumlah siklus tiap jam, tergantung dari:
- tipe alat-alat berat (waktu tetap, waktu variable, kecepatan operasi, dll)
  - metode pengoperasian alat (jarak gali/gusur, kedalaman galian, jarak angkut, dsb)
- E = Faktor efisiensi yang diperlukan untuk mendapatkan gambaran produksi nyata berdasarkan kondisi kerja di lapangan, biasanya menyangkut:
- kualitas operator
  - dan lain-lain

## BAB II

### PERHITUNGAN PRODUKSI TIAP JENIS ALAT - ALAT BERAT

#### A. UMUM

Pada umumnya pekerjaan konstruksi dengan melibatkan alat-alat berat, konsentrasi pekerjaannya adalah pada pekerjaan pemindahan tanah sehingga dalam perhitungan produksi ini banyak menyangkut alat-alat berat pemindah tanah.

Perhitungan produksi ini merupakan dasar perhitungan secara umum dengan memperhitungkan faktor efisiensi yang menyangkut kondisi kerja di lapangan, sehingga dapat dipakai sebagai dasar perhitungan dalam pekerjaan konstruksi yang menggunakan alat-alat berat. Namun data lapangan sebagai hasil pengamatan yang akurat secara terus menerus dapat dijadikan dasar dalam perhitungan produksi ini.

Masalah lain dari produksi ini adalah perhitungan produksi armada alat-alat berat yang melibatkan dua atau lebih alat-alat berat.

Dan disamping itu dibutuhkan pula perhitungan kesepadanaan alat (fleet and match), sehingga dapat menghasilkan produksi gabungan suatu fleet (armada) dengan efisiensi yang tinggi.

#### B. PERHITUNGAN PRODUKSI INDIVIDUAL ALAT

##### 1. Perhitungan Produksi Bulldozer

Perhitungan produksi sebuah bulldozer dapat dihitung di dalam hasil stright dozing saja, dan biasanya atas dasar pengalaman pada pelaksanaan pekerjaan serupa dapat dijadikan sebagai pegangan untuk penentuan hasil kerja sebuah bulldozer.

Produksi bulldozer dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

- Kapasitas blade, yang telah diperhitungkan dengan daya (Horse Power) alat.
- Jarak angkut/dorong
- Kecepatan gerak maju dan mundur
- Kondisi material
- Keterampilan operator dan faktor efisiensi lainnya

## a) Kapasitas blade

Dalam perhitungan dapat diambil asumsi bahwa tanah menggantung di depan blade dengan jumlah yang maksimal bila mencapai tinggi blade, sedang tanah jatuh miring kedepan dengan landai 1 : 2.

Bila lebar blade (L) dan tinggi blade (H), maka :

Berdasarkan Standar SAE J 1285, kapasitas blade =  $0,8 L H^2$ , untuk Straight dan Angle Blade

Biasanya dari spesifikasi teknik bulldozer dari pabrik pembuatnya telah ditentukan kapasitas blade tersebut untuk tiap tipe bulldozer.

## b) Waktu siklus (Cycle time)

Untuk menghitung produksi bulldozer sangat tergantung dari waktu yang diperlukan untuk menjalani satu siklus (cycle time)

Waktu siklus bulldozer adalah waktu yang dibutuhkan untuk :

- 1) Menempatkan dozer pada posisi menggali
- 2) Gerak maju sambil menggali
- 3) Waktu untuk pindah gigi saat mendorong
- 4) Bergerak maju mendorong
- 5) Percepatan untuk mencapai kecepatan maksimal
- 6) Berhenti pada akhir membuang muatan
- 7) Pindah gigi untuk mundur
- 8) Bergerak mundur untuk kembali ke tempat penggalian materil
- 9) Berhenti untuk mengambil posisi menggali
- 10) Mengulang kembali gerakan dari (1) sampai (9)

Semua gerakan, kecuali gerakan (4) dan (8), biasanya merupakan waktu tetap sepanjang kerja yang dinamakan fixed time (waktu tetap).

Gerakan (4) dan (8) tergantung dari jarak dorong dan kecepatan maju/mundur bulldozer sehingga disebut variable time.

Sehingga waktu siklus tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_m = \frac{D}{F} + \frac{D}{R} + z,$$

dimana : D = Jarak angkut/dorong (m)

F = Kecepatan maju (m/menit)

R = Kecepatan mundur (m/menit)

z = Waktu tetap/fixed time (menit)

$C_m$  = Waktu siklus (menit)

## c) Faktor efisiensi

Efisiensi adalah suatu faktor yang harus dikalikan dengan hasil perhitungan berdasar ketentuan tersebut diatas, dimana dalam kondisi normal, yaitu manajemen baik, operator baik dan medan baik, faktor efisiensi ini diambil sebesar 0,70 – 0,83.

Adakalanya faktor efisiensi dinyatakan dalam waktu kerja efektif selama satu jam, misalnya bila efisiensi = 0,75 sama dengan bekerja efektif selama 45 menit dalam satu jam.

## d) Rumus Umum Perhitungan Produksi Bulldozer

Berdasarkan data diatas maka dasar perhitungan produksi Bulldozer dinyatakan sebagai berikut :

$$Q = q \times \frac{60}{C_m} \times e \times E, \quad \text{dimana: } Q = \text{Produksi (m}^3/\text{jam)}$$

$$q = \text{Produksi persiklus (m}^3/\text{jam)}$$

$$= q_1 \times a$$

$$C_m = \text{waktu siklus (menit)}$$

$$e = \text{faktor kelandaian}$$

$$E = \text{Efisiensi kerja}$$

## 1) Produksi tiap siklus (q)

Untuk pekerjaan penggusuran tanah (dozing), dipakai rumus :

$$q = q_1 \times a, \quad \text{dimana } q_1 = \text{Kapasitas Blade (m}^3)$$

$$= 0,8 LH^2 \text{ ( straight blade )}$$

$$a = \text{Faktor blade (tergantung kondisi material)}$$

**TABEL - 1**  
**Faktor Blade**

Kondisi material		Faktor Blade
Mudah digusur	Tanah lepas, mudah digusur, kandungan air rendah tanah berpasir tidak padat, tanah biasa, material untuk stock pile	1,1 – 0,9
Agak mudah digusur	Tanah lepas tapi sulit untuk digusur sepenuh blade, tanah bercampur kerikil, pasir dan batu halus hasil crushing	0,9 – 0,7
Agak Sulit digusur	Kandungan air tinggi dan tanah liat yang lengket, pasir bercampur batu, tanah liat kering dan keras	0,7 – 0,6
Sulit digusur	Batu hasil peledakan, atau bongkahan batu yang besar	0,6 – 0,4



2) Waktu siklus ( $C_m$ )

Waktu siklus yang diperlukan gerakan bulldozer dalam satu siklus yaitu memotong terus mendorong (dozing), mundur (reversing) dan perpindahan gigi transmisi (gear shifting);

$$C_m = \frac{D}{F} + \frac{D}{R} + z,$$

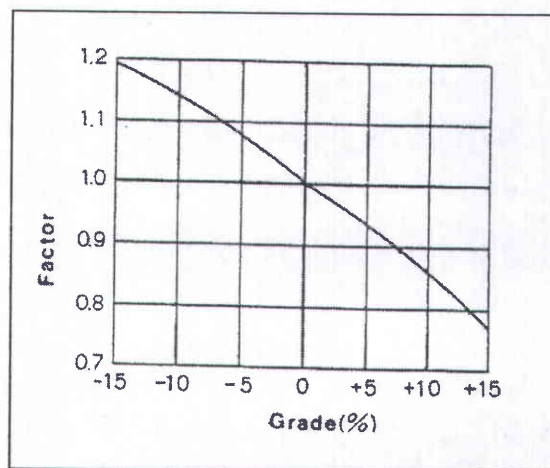
Kecepatan maju (F) berkisar antara 3 – 5 km/jam

Kecepatan mundur (R) berkisar antara 5 – 7 km/jam

Waktu tetap, untuk perpindahan gigi kecepatan dan dari gerakan maju ke gerakan mundur (z)

- Direct Drive : 0,10 menit
- Torqflow transmission : 0,05 menit

## 3) Faktor Kelandaian (grade faktor) (e)



Gambar 1 – Grafik faktor kelandaian

Kurva faktor kelandaian (grade faktor) (e),  
 $e > 1$ , bila menurun  
 $e < 1$ , bila menanjak  
 $e = 1$ , bila datar

## 4) Efisiensi (E)

Untuk mendapatkan gambaran produksi nyata, diperlukan faktor untuk menentukan efisiensi berdasarkan kondisi kerja yang nyata dilapangan.

Daftar dibawah ini hanya memberikan jenis kondisi kerja umum sebagai pedoman.

**TABEL - 2**  
**Efisiensi Kerja (E)**

Kondisi kerja	Efisiensi kerja
Baik	0,83
Sedang	0,75
Agak Buruk	0,67
Buruk	0,58

e) Contoh :

Sebuah bulldozer Komatsu D53A memiliki data :

- Koefisien traksi = 0,4
- Berat alat (operating weight) = 12.250 kg (dilengkapi angle blade)
- Kapasitas blade = 2,87 m<sup>3</sup>
- Kecepatan maju/dorong = 5 km/jam
- Kecepatan mundur = 7 km/jam

Harus memindah tanah pada jarak efektif sejauh 40 meter, dengan kondisi tanah sebagai berikut :

- Berat tanah 1.250 kg/ m<sup>3</sup> , material mudah didorong, dengan faktor-blade = 0,9 dan faktor pengembangan (swell) 1,25
- Lokasi datar tanpa ada daerah landai/mendaki

Kondisi operasi sangat baik dengan faktor efisiensi = 0,83

Agar dapat dihitung produksi bulldozer tersebut.

Perhitungan :

$$\text{Produksi } Q = q \times \frac{60}{C_m} \times e \times E$$

$$q = 2,87 \times 0,9 = 2,583 \text{ m}^3$$

$$C_m = \frac{40 \times 60}{5 \times 1000} + \frac{40 \times 60}{7 \times 1000} + 0,10$$

$$= 0,48 + 0,34 + 0,10 = 0,92 \text{ menit}$$

$$e = 1,0$$

$$E = 0,83$$

$$\text{Produksi} = 2,583 \times \frac{60}{0,92} \times 1,0 \times 0,83 = 140 \text{ m}^3/\text{jam}$$

f) Perhitungan produksi bulldozer menggunakan KURVA PRODUKSI  
 Selain dengan perhitungan menggunakan rumus produksi tersebut diatas, produksi bulldozer dapat diperhitungkan dengan menggunakan kurva produksi dengan ketentuan sebagai berikut :

- 1). Efisiensi = 100%
- 2). Fixed time (waktu pindah gigi) = 0,05 menit
- 3). Galian sejauh 15 meter kemudian mendorong dengan blade
- 4). Penggunaan gigi transmisi :

<b>Bulldozer dengan F3/R3</b>	<b>Bulldozer dengan F4/R4</b>
Memotong/ menggali : F1	F1
Mendorong : F2	F2, F3
Kembali : R2	R3

5). Produksi nyata = Estimasi x Faktor koreksi

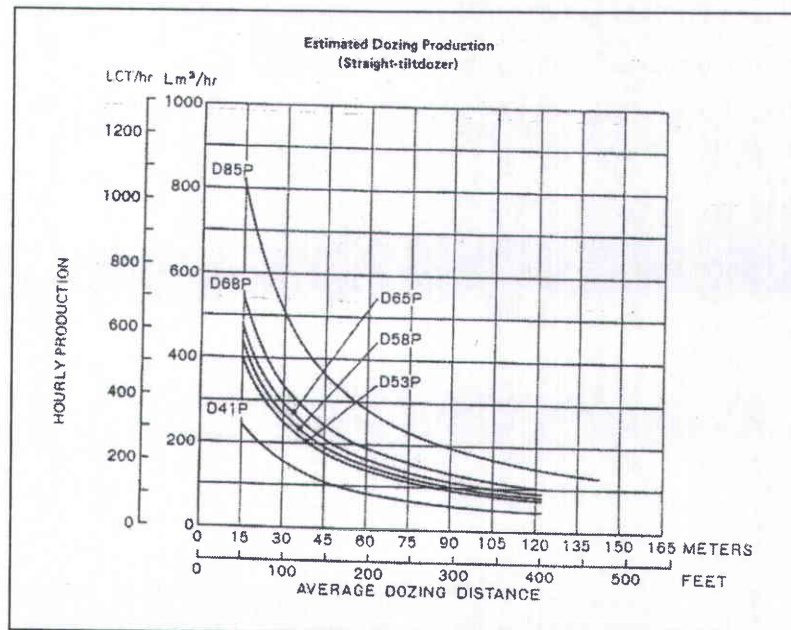
Faktor koreksi terdiri dari faktor blade dan efisiensi kerja

Faktor blade :

- \* Mudah : 1,1 – 0,9
- \* Sedang : 0,9 – 0,7
- \* Agak sulit : 0,7 – 0,6
- \* Sulit : 0,6 – 0,4

Efisiensi kerja :

- \* Baik : 0,83
- \* Sedang : 0,75
- \* Agak buruk : 0,67
- \* Buruk : 0,58



Gambar 2 – Grafik produksi Bulldozer

## g) Produksi bulldozer dengan attachment ripper (produksi ripping)

Untuk perhitungan produksi ripping diusahakan dapat dibaca hasil Test Seismic Wave Velocity, karena untuk penggunaan tipe atau jenis ripper sangat tergantung kepada jenis material yang akan dikerjakan.

Sebagai Rumus Umum dapat dipakai :

$$Q_r = q \times C_h \times E \quad (\text{m}^3/\text{jam})$$

$$= \frac{S \times p \times D \times 60 \times E}{C_m} \quad (\text{Multi Shank Ripper})$$

$$\text{atau } Q_r = \frac{2(p)^2 \times D \times 60 \times E}{C_m} \quad (\text{Giant Ripper, } S = 2 p)$$

dimana:	q	= Produksi per siklus = S x p x D
	C <sub>h</sub>	= Jumlah siklus per jam = 60/C <sub>m</sub>
	C <sub>m</sub>	= 60D/1000F + 60D/1000R + z (menit)
	P	= produksi ripping (m <sup>3</sup> /jam)
	S	= Lebar kerja (spacing) (meter)
	p	= kedalaman penetrasi (meter)
	E	= efisiensi
	D	= jarak ripping (meter)
	F	= kecepatan maju (km/jam)
	R	= kecepatan mundur (km/jam)
	z	= waktu tetap (fixed time)

## h) Contoh perhitungan produksi ripping

Sebuah bulldozer 325 HP digunakan untuk pekerjaan ripping dengan menggunakan multi shank ripper dan jarak ripping rata-rata = 30 meter. Data lainnya adalah :

Lebar kerja	= 3,2 m
Kedalaman penetrasi	= 30 cm
Kecapatan maju	= 2,5 km/jam
Kecepatan mundur	= 3,0 km/jam
Waktu tetap	= 0,10 menit
Faktor ketersediaan mesin	= 0,9
Efisiensi waktu	= 0,83
Efisiensi kerja	= 0,8

$$\text{Efisiensi operator} = 0,85$$

$$\text{Faktor pengembangan material} = 1,2$$

Berapa produksi pekerjaan ripping tersebut?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \text{Produksi persiklus } q &= S \times p \times D \\ &= 3,2 \times 0,3 \times 30 = 28,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu siklus } C_m &= D/F + D/R + z \\ &= \frac{30 \times 60}{1000 \times 2,5} + \frac{30 \times 60}{1000 \times 3} + 0,10 \\ &= 0,64 + 0,6 + 0,1 = 1,34 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah siklus perjam } C_h = 60/C_m = 60/1,34 = 44,7 \text{ pass (lintasan)}$$

$$\begin{aligned} \text{Produksi } Q_r &= q \times C_h \times E \\ &= 28,8 \times 44,7 \times (0,9 \times 0,83 \times 0,8 \times 0,85) \\ &= 654 \text{ m}^3/\text{jam (bank)} \\ &= 1,2 \times 654 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 785 \text{ m}^3/\text{jam (loose)} \end{aligned}$$

i) Perhitungan produksi gabungan dozing dan ripping

Pada pelaksanaan pemindahan tanah pekerjaan ripping merupakan pekerjaan bantu dari pekerjaan dozing, jadi setelah material di ripping maka pekerjaan selanjutnya dozing. Dapat dikatakan bahwa pekerjaan ripping tidak berdiri sendiri tapi selalu berpasangan dengan dozing.

Produksi kombinasi/gabungan ripping dan dozing, menggunakan rumus :

$$Q_{dr} = \frac{Q_d \times Q_r}{Q_d + Q_r} \text{ (m}^3/\text{jam)}$$

dimana :  $Q_d$  = perhitungan produksi dozing

$Q_r$  = perhitungan produksi ripping

Contoh :

Sebuah bulldozer dipakai untuk pekerjaan ripping dozing.

Bila produksi dozing = 140 m<sup>3</sup>/jam, dan produksi ripping = 785 m<sup>3</sup>/jam, hitunglah produksi kombinasi/gabungan dari pekerjaan tersebut.

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 Q_{dr} &= \frac{Q_d \times Q_r}{Q_d + Q_r} \text{ (m}^3\text{/jam)} \\
 &= \frac{140 \times 785}{140 + 785} \\
 &= 118 \text{ m}^3\text{/jam}
 \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan produksi Loader

a. Faktor yang mempengaruhi produksi loader

Produksi Loader dipengaruhi oleh :

- Waktu siklus (cycle time) yang terdiri dari fixed time dan variable time
- Volume bahan/material yang dapat dimuat setiap siklus/trip (produksi tiap siklus)
- Metoda pengisian

b. Rumus umum

$$Q = q \times \frac{60}{C_m} \times E, \quad \text{dimana } Q = \text{Produksi (m}^3\text{/jam)}$$

$q$  = Produksi persiklus (m<sup>3</sup>/jam)

$C_m$  = waktu siklus (menit)

$E$  = Efisiensi kerja

1) Produksi tiap siklus

$$q = q_1 \times k \text{ m}^3\text{/jam, \quad dimana } \begin{aligned} q_1 &= \text{Kapasitas Bucket (m}^3\text{)} \\ k &= \text{Faktor bucket} \end{aligned}$$

a) Kapasitas bucket ( $q_1$ )

Diberikan data dari spesifikasi teknik alat (loader) dari pabrik.

Contoh : Wheel Loader Komatsu WA 320-1

Kapasitas bucket = 2,5 m<sup>3</sup> (heaped)

= 2,1 m<sup>3</sup> (struck)

b) Faktor bucket ( $k$ )

Faktor bucket ini sangat dipengaruhi oleh keadaan material yang akan dipindahkan, dan untuk perhitungan dapat diambil dari tabel

**TABEL – 3**  
**Faktor Bucket (Loader)**

Kondisi pengisian (loading)	Wheel Loader	Dozer Shovel
Pengisian mudah	1,00 - 1,10	1,00 - 1,10
Pengisian sedang (rata-rata)	0,85 - 0,95	0,95 - 1,00
Pengisian agak sulit	0,80 - 0,85	0,90 - 0,95
Pengisian sulit	0,75 - 0,80	0,85 - 0,90

2) Waktu Siklus (Cycle Time) (Cm)

Waktu siklus loader ini tergantung dari metoda/cara pengisian dan kapasitas bucket, yang terdiri dari waktu gerak maju mengisi bucket, waktu mengisi bucket, waktu mundur (berisi muatan) ke tempat semula, maju kembali ke tempat penuangan muatan, waktu menuang muatan dan kembali (kosong) ke tempat semula.

**TABEL – 4**  
**Waktu Siklus Rata-Rata (dalam menit)**

a) Cara pengisian V (V-shape loading)

Kondisi Pengisian \ Kapasitas Bucket	Wheel Loader			Dozer Shovel	
	< 3 m <sup>3</sup>	3,1 – 5 m <sup>3</sup>	> 5,1 m <sup>3</sup>	< 3 m <sup>3</sup>	3,1 – 5 m <sup>3</sup>
Mudah	0,45	0,55	0,65	0,55	0,60
Sedang (rata-rata)	0,55	0,65	0,70	0,60	0,70
Agak sulit	0,70	0,70	0,75	0,75	0,75
Sulit	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80

b) Cara pengisian Silang (Cross loading)

Kondisi Pengisian \ Kapasitas Bucket	Wheel Loader			Dozer Shovel	
	< 3 m <sup>3</sup>	3,1 – 5 m <sup>3</sup>	> 5,1 m <sup>3</sup>	< 3 m <sup>3</sup>	3,1 – 5 m <sup>3</sup>
Mudah	0,40	0,50	0,60	0,55	0,60
Sedang (rata-rata)	0,50	0,60	0,65	0,60	0,70
Agak sulit	0,65	0,65	0,70	0,75	0,75
Sulit	0,70	0,75	0,75	0,80	0,80

Waktu siklus dapat juga dihitung dengan menggunakan rumus :

$$C_m = \left( \frac{D \times 60}{1000 \times F} + \frac{D \times 60}{1000 \times R} \right) \times n + z, \text{ dimana } D = \text{Jarak muat (m)}$$

F = kecepatan maju (km/jam)

R = kecepatan mundur (km/jam)

z = waktu tetap (menit)

n = 1 (cross loading)

2 (v-shape loading)

Nilai z dipengaruhi oleh cara pengisian dan jenis transmisi

**TABEL – 5**  
**Waktu Tetap pada Loader**

Jenis transmisi	Waktu Tetap = z (menit)		
	V-Shape	Cross	Load & Carry
Direct Drive	0,25	0,35	-
Hydroshift	0,20	0,30	-
Torqflow	0,20	0,30	0,35

c. Contoh

Sebuah Wheel Loader (torqflow transmission) dengan kapasitas bucket 2,5 m<sup>3</sup>, digunakan untuk mengisi material kedalam dump truck.

Metoda pemuatan yang dipakai adalah V-shape loading dengan data antara lain :

- Jarak muat : 10 meter
- Kecepatan maju : 6 km/jam
- Kecepatan mundur : 10 km/jam
- Faktor bucket : 0,8
- Efisiensi kerja : 0,75

Tentukan produksi wheel loader tersebut.

Perhitungan :

$$Q = q \times \frac{60}{C_m} E (m^3 / jam)$$

$$q = 2,5 \times 0,8 = 2 \text{ m}^3$$



$$C_m = \frac{(10 \times 60)}{(1000 \times 6)} + \frac{10 \times 60}{1000 \times 10} \times 2 + 0,2$$

$$= 0,52 \text{ menit}$$

$$Q = 2 \times \frac{60}{0,52} \times 0,75$$

$$= 173 \text{ m}^3/\text{jam}$$

d. Load and carry

Meskipun metoda load and carry ini sudah jarang digunakan, namun untuk membantu perhitungan disajikan rumus perhitungan sebagai berikut :

1) Rumus Umum :

$$Q = q \times \frac{60}{C_m} \times E \text{ (m}^3 / \text{jam)}$$

2) Produksi persiklus (q)

$$q = q_1 \times k$$

a) Faktor bucket (k)

Pada metoda load and carry, pemuatan bucket penuh (heaped) akan menyebabkan material tercecer selama pengangkutan (carry)

Gunakan faktor bucket/spillage antara 0,70 – 0,90

b) Kapasitas bucket ( $q_1$ ) diberikan oleh pabrik pembuat seperti tercantum dalam data spesifikasi alat (loader)

3) Waktu siklus ( $C_m$ )

$$C_m = \frac{D \times 60}{1000 \times F} + \frac{D \times 60}{1000 \times R} + z$$

dimana :  
 D = Jarak angkut (m)  
 F = kecepatan bermuatan (km/jam)  
 R = kecepatan kembali (kosong) (km/jam)  
 z = waktu tetap (menit)

4) Efisiensi

Tergantung dari kondisi kerja di lapangan.

**TABEL – 6**  
**Kecepatan Wheel Loader (km/jam)**

KONDISI KERJA		ISI	
		MUATAN	KOSONG
Baik	Mengangkut diatas jalan padat rata, sedikit bergelombang, tidak berpapasan dengan alat lain, dapat konsentrasi penuh	10–23	11–24
Sedang	Jalan sedikit bergelombang, jalan datar, ada pekerjaan lain membawa bongkahan batu	10 – 18	11 – 19
Agak buruk	Jalan bergelombang, pekerjaan lain cukup sibuk	10 – 15	10 – 16
Buruk	Jalan sangat bergelombang, sering berpapasan dengan alat lain, sulit untuk bekerja dengan tenang	9 – 12	9 – 14

Fixed time/waktu tetap (menit):

$$z = t_1 + t_2 + t_3 + t_2$$

dimana  $z$  = antara 0,60 – 0,75 menit

$t_1$  = waktu mengisi bucket (0,2 – 0,35 menit)

$t_2$  = waktu memutar/manuover (0,15 menit)

$t_3$  = waktu menuang (0,10 menit)

### 3. Perhitungan produksi Excavator

Jenis alat penggali (excavator) saat ini banyak dipakai dalam pekerjaan pemindahan tanah mekanis (earth moving) di bidang konstruksi dan pertambangan karena kegunaannya yang sangat banyak, yaitu disamping alat penggali (saluran dan sebagainya), juga dapat digunakan sebagai pengisi (loader), pemecah batuan (breaker) dan sebagainya dengan hanya menambah/mengganti attachmentnya saja.

Dalam pembahasan produksi excavator ini dititik beratkan kepada hydraulic excavator dengan attachment backhoe dan shovel.

#### a. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi excavator

Produksi excavator banyak dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya :

- Jenis material
- Kedalaman galian (digging depth)
- Sudut putar (swing)
- Kapasitas/ukuran bucket

- Kondisi excavator
- Kondisi pekerjaan /job conditions
- Keterampilan operator
- Kondisi manajemen

## b. Rumus Umum

$$\text{Produksi } Q = q \times \frac{3600}{C_m} \times 3600 \times E \text{ (m}^3 \text{ / jam)}$$

dimana  $q$  = produksi persiklus ( $\text{m}^3$ )  
 $C_m$  = waktu siklus (detik)  
 $E$  = Efisiensi kerja

1) Produksi persiklus =  $q$  ( $\text{m}^3$ )

$q = q_1 \times k$ , dimana  $q_1$  = kapasitas bucket

$k$  = faktor bucket

**TABEL – 7.a**  
**Faktor Bucket (Backhoe)**

Kondisi Galian		Faktor bucket
Mudah	Tanah asli, clay lunak	1,1 – 1,2
Sedang	Tanah asli kering berpasir	1,0 – 1,1
Agak sulit	Tanah asli berkerikil	0,8 – 0,9
Sulit	Batuan hasil ledakan	0,7 – 0,8

**TABEL – 7.b**  
**Faktor Bucket (Power Shovel)**

Kondisi Galian		Faktor bucket
Mudah	Tanah asli, clay lunak	1,0 – 1,1
Sedang	Tanah asli kering berpasir	0,95 – 1,0
Agak sulit	Tanah asli berkerikil	0,90 – 0,59
Sulit	Batuan hasil ledakan	0,85 – 0,90

2) Waktu siklus ( $C_m = \text{cycle time}$ )

$$\begin{aligned} \text{Waktu siklus} &= \text{waktu menggali} + \text{waktu swing (bermuatan)} + \text{waktu} \\ &\quad \text{dumping} + \text{waktu swing (kosong)} \\ &= \text{waktu siklus standar} \times \text{faktor konversi} \end{aligned}$$

**TABEL – 8.a**  
Waktu Siklus Standar (Backhoe) (detik)

Model/Type \ Rentang	Sudut swing	
	45° – 90°	90° – 180°
PC 100	11 - 14	14 - 17
PC 150	13 - 16	16 - 19
PC 180	13 - 16	16 - 19
PC 200	13 - 16	16 - 19
PC 220	14 - 17	17 - 20
PC 240	15 - 18	18 - 21
PC 300	15 - 18	18 - 21

**TABEL – 8.b**  
Siklus Standar (Shovel) (detik)

Model/Type	Waktu siklus
PC 400	16 - 20
PC 650	18 - 22
PC 1000	20 - 24
PC 1600	27 - 31

**TABEL - 9**  
Faktor Konversi (Backhoe)

Kondisi Galian*)	Kondisi Pembuangan			
	Mudah (Membuang pada tempatny)	Normal (Tempat pembuangan luas)	Agak Sulit (tempat pembuangan sempit)	Sulit (tempat sempit memerlukan jangkauan maksimal)
Dibawah 40 %	0,7	0,9	1,1	1,4
40 - 75 %	0,8	1,0	1,3	1,6
Diatas 75 %	0,9	1,1	1,5	1,8

$$*) \text{Kondisi galian (dalam \%)} = \frac{\text{Kedalaman galian}}{\text{Kedalaman galian spesifik maksimal}}$$

## c. Contoh

Untuk pembuatan saluran digunakan hydraulic excavator (backhoe) PC200-5,

Volume galian = 2000 m<sup>3</sup>

Faktor kondisi alat = 90 %

Faktor skill operator = 0,85

Efisiensi kerja = 0,83

Sudut swing = 90°

Kedalaman galian = 2 meter

Kedalaman galian spesifik maksimal = 6 meter

Kondisi tanah biasa, membuang pada daerah pembuangan (mudah)

Berapa lama pekerjaan tersebut diselesaikan?

Perhitungan :

- 1) Volume galian = 2000 m<sup>3</sup> (BCM)  
= 2000 x 1,25 = 2500 m<sup>3</sup> (LCM)
- 2) Faktor efisiensi total = 0,9 x 0,85 x 0,83 = 0,63
- 3) Produksi persiklus (q) = 0,8 m<sup>3</sup> x 1,1  
= 0,88 m<sup>3</sup>
- 4) Waktu siklus (C<sub>m</sub>) = waktu siklus standar x faktor konversi  
= 16 detik x 0,7 = 11,2 detik

(Kedalaman galian = 2 meter, maka kondisi galian = 2 m : 6 m = 33 %, dan dari tabel untuk kondisi galian < 40 % dan kondisi pembuangan mudah, dapat dibaca faktor konversi = 0,7)

- 5) Produksi excavator (Q) =  $q \times \frac{3600}{C_m} \times E$   
= 0,88 x  $\frac{3600}{11,2}$  x 0,63  
= 178 m<sup>3</sup>/jam
- 6) Waktu yang diperlukan = 2500 m<sup>3</sup> : 178 m<sup>3</sup>/jam  
= 14 jam

#### 4. Perhitungan produksi Dump Truck

Dump truck merupakan salah satu alat pemindah tanah yang utama terutama untuk pemindahan jarak jauh yang tidak dapat dilaksanakan lagi oleh alat lainnya. Dump truck memerlukan bantuan alat lain untuk mengisi muatan kedalam vessel (loading) tapi dapat menuang/membongkar muatan sendiri

(dumping). Kapasitas dump truck terutama untuk off-highway truck mulai daya 316 HP/Max.payload 28 tons sampai daya 2500 HP/Max.payload 282 tons dan bahkan telah ada yang memiliki max. Payload sebesar 300 ton, sehingga pengoperasiannya memerlukan keahlian dan keterampilan yang sangat baik.

a. Rumus Umum

$$Q = q \times \frac{60}{C_{mt}} \times E_t \quad \text{dimana} \quad \begin{array}{l} Q = \text{Produksi (m}^3/\text{jam)} \\ q = \text{Produksi persiklus (m}^3) \\ E_t = \text{Efisiensi dump truck} \\ C_{mt} = \text{waktu siklus dump truck} \end{array}$$

1) Produksi tiap siklus (C)

$$q = n \times q_1 \times k \quad \text{dimana} \quad \begin{array}{l} n = \text{siklus (trip) pengisian loader} \\ q_1 = \text{kapasitas bucket loader (m}^3) \\ k = \text{faktor bucket} \end{array}$$

2) Waktu siklus ( $C_{mt}$ )

$C_{mt}$  = waktu pengisian + waktu pengangkutan + waktu dumping + waktu kembali (tanpa muatan) + waktu mengambil posisi untuk pengisian

$$= n \times C_{ms} + \frac{D}{V_1} + t_1 + \frac{D}{V_2} + t_2$$

dimana  $n$  = siklus loader yang diperlukan untuk mengisi dump truck

$$= \frac{C_1}{(q_1 \times k)} \quad \text{dimana} \quad C_1 = \text{kapasitas dump truck (rata-rata)}$$

$q_1$  = kapasitas bucket loader

$k$  = faktor bucket

$C_{ms}$  = waktu siklus loader (menit)

$D$  = jarak angkut dump truck (meter)

$V_1$  = kecepatan dump truck waktu mengangkut (m/menit)

$V_2$  = Kecepatan dump truck waktu kembali (m/menit)

$t_1$  = waktu diperlukan untuk dumping (menit)

$t_2$  = waktu diperlukan untuk mengatur posisi (menit)

- a) Hal-hal yang mempengaruhi waktu angkut dan waktu kembali

**(1) Tahanan Gelinding (Rolling Resistance)**

Tahanan gelinding adalah tahanan atau daya hambat yang diakibatkan oleh *kondisi tanah pada roda kendaraan*. Daya hambat ini harus diatasi agar kendaraan dapat berjalan dengan baik.

Daya hambat pada roda adalah jumlah berat kendaraan kosong ditambah dengan berat muatan yang diangkutnya, yang besarnya menurut praktek selama ini adalah 2% dari Gross Vehicle Weight (GVW) yang besarnya adalah 40 lb/ton atau 20 kg/ton, dengan kata lain untuk setiap ton berat beban dibutuhkan daya sebesar 40 lbs atau 20 kg dorongan atau tarikan untuk menggerakkan alat-alat berat beroda ban pada permukaan yang keras, halus dan rata.

Tahanan gelinding (Rolling Resistance) dapat dinyatakan dengan rumus :

$$RR = W \times R_f \text{ (kg atau lbs)}$$

Dimana RR = Rolling Resistance (kg)

W = Berat kendaraan (ton)

R<sub>f</sub> = Koefisien/Faktor tahanan gelinding

**(2) Tahanan kelandaian (Grade Resistance)**

Tahanan kelandaian adalah gaya berat yang harus diatasi bila kendaraan mendaki, baik untuk alat-alat berat beroda ban maupun jenis track. Tahanan ini akan berubah menjadi bantuan (Grade Assistance) apabila alat bergerak menurun.

Dalam pekerjaan pemindahan tanah, kelandaian (grade) diukur dalam % kelandaian.

Setiap 1% kelandaian akan menimbulkan daya hambat atau daya bantu sebesar 20 lbs/ton atau 10 kg/ton GVW, atau dinyatakan dengan rumus :

$$GR = W \times \% \text{ kelandaian (kg)}$$

Dimana GR = Grade Resistance (kg)

W = berat kendaraan (ton)

% = sudut kelandaian

### (3) Total Resistance (tahanan gelinding + tahanan kelandaian)

Pada jalan mendaki kendaraan harus mengatasi tahanan gelinding dan tahanan kelandaian, sedang pada jalan menurun kendaraan harus mengatasi tahanan gelinding tapi dibantu dengan tahanan kelandaian.

Dan pada jalan datar kendaraan hanya membutuhkan daya untuk mengatasi tahanan gelinding saja.

Total resistance dinyatakan dalam persen (%), dan sangat penting dalam menggunakan kurva Rimpull, Brake Performance (kemampuan rem) dan Travel Time (waktu perjalanan)

$$\text{Total Resistance (\%)} = \text{Rolling Resistance (\%)} \pm \text{Grade Resistance (\%)}$$

**TABEL - 10**  
**Koefisien/Faktor Tahanan Gelinding (Rolling Resistance)**

KEADAAN PERMUKAAN JALAN	KOEFSISIEN		
	lbs	kg	%
1. Jalan permanen, diaspal, halus dan keras, ban tidak terbenam	40	20	2
2. Jalan bergelombang, terpelihara, ban agak terbenam	65	35	3,5
3. Jalan tanah, ban terbenam, perawatan sedikit sekali	100	50	5
4. Jalan tanah, tidak permanen, lunak, tidak dirawat	150	75	7,5
5 Jalan berpasir gembur, atau kerikil	200	100	10
6. Jalan lunak, berlumpur, tidak dirawat, sangat jelek	100- 400	100- 200	10 - 20

(20 lbs/ton atau 10 kg/ton = 1 %)



**TABEL- 11**  
**Derajat Kelandaian**

Derajat (°)	Persen (%)	Derajat (°)	Persen (%)	Derajat (°)	Persen (%)
1	1,8	11	19,0	21	35,8
2	3,5	12	20,8	22	37,5
3	5,2	13	22,5	23	39,1
4	7,0	14	24,2	24	40,2
5	8,7	15	25,9	25	42,3
6	10,5	16	27,6	26	43,8
7	12,2	17	29,2	27	45,4
8	13,9	18	30,9	28	47,0
9	15,6	19	32,6	29	48,5
10	17,4	20	34,2	30	50,0

b) Memilih kecepatan maju

Tingkat kecepatan sesuai dengan daya hambat, dan kecepatan maksimum dapat diperoleh dengan menggunakan Kurva Rimpul vs Kecepatan (Travel Performance Curve).

Kecepatan maksimum yang diperoleh adalah kecepatan teori, sehingga untuk mendapatkan kecepatan rata-rata sebenarnya, kecepatan maksimum ini harus dikonversikan dengan menggunakan *faktor kecepatan (speed factor)*. Dalam pelaksanaan faktor kecepatan dapat dipilih dari tabel.

Cara memilih faktor kecepatan.

Apabila truck berjalan menurun, pemindahan gigi sesuai dengan yang diinginkan dapat berlangsung cepat. Dalam hal ini dapat dipakai nilai yang agak tinggi dari rentang faktor tersebut. Disisi lain, bila truck mulai bergerak pada jalan yang rata atau mendaki akan memerlukan waktu pindah gigi sesuai dengan yang diinginkan lebih lama, jadi faktor yang lebih kecil yang dipilih pada faktor kecepatan.

**TABEL- 12**  
**Faktor Kecepatan**

Jarak angkut pada tiap seksi (m)	Bila memulai start	Bila berjalan pada tiap seksi
0 – 100	0,25 – 0,50	0,50 – 0,70
100 – 250	0,35 – 0,60	0,60 – 0,75
250 – 500	0,50 – 0,65	0,70 – 0,80
500 – 750	0,60 – 0,70	0,75 – 0,80
750 – 1000	0,65 – 0,75	0,80 – 0,85
1000 –	0,70 – 0,85	0,80 – 0,90

- c) Memilih kecepatan menurun  
 Apabila kondisi jalan menurun dan total resistance adalah minus, maka kecepatan truck bisa dibatasi oleh fungsi retarder dengan jarak tertentu.  
 Untuk menentukan kecepatan maksimum dapat menggunakan Brake Performance Curve (Grade distance continuous)
- d) Waktu dumping dan waktu mengatur posisi

**TABEL – 13**  
**Waktu dumping ( $t_1$ ) dan Waktu untuk mengatur posisi ( $t_2$ )**

Kondisi kerja	$t_1$ (menit)	$t_2$ (menit)
B a i k	0,5 – 0,7	0,1 – 0,2
Sedang	1,0 – 1,3	0,25 – 0,35
Tidak baik	1,5 – 2,0	0,4 – 0,5

- b. Menghitung jumlah dump truck  
 Untuk menentukan jumlah dump truck yang diperlukan dalam kombinasi dengan loader agar diperoleh efisiensi yang tinggi, dipakai rumus sebagai berikut :

$$M = \frac{C_{mt}}{n \times C_{ms}}$$

dimana  $n$  = jumlah siklus loader untuk mengisi satu dump truck

$C_{ms}$  = waktu siklus loader (menit)

$C_{mt}$  = waktu siklus dump truck (menit)

- c. Pengoperasian dump truck di kombinasikan dengan loader

Bila dump truck bekerja dikombinasikan dengan loader, sangat diperlukan kapasitas dari dump truck tersebut seimbang dengan kapasitas loader.

$$C \times \frac{60}{C_{mt}} \times E_t \times M \leq q_1 \times k \times \frac{60}{C_{ms}} \times E_s$$

- d. Contoh

Off Highway Dump Truck Caterpillar 769 D, bekerja berpasangan dengan Wheel Loader Komatsu WA 600, mengangkat material tanah sejauh 1000 meter.

Berapa produksi dump truck tersebut ?

Kondisi kerja :

Jalan angkutan : jalan rata sejauh 900 meter

Jalan mendaki/menurun sepanjang 100 meter, dengan kelandaian 10%

Kondisi jalan : jalan sebagian tenggelam dibawah beban, kurang perawatan

Jenis material : sandy clay (loose density 1,6 ton/m<sup>3</sup>)

Efisiensi kerja : 0,83

Kondisi jalan tanah, ban terbenam dan perawatan sedikit sekali, Rolling Resistance (RR) = 5%

Untuk keamanan kerja maka kecepatan dibatasi sebagai berikut :

Kondisi Jalan	Pembebanan Dump Truck	Kecepatan maks.
Flat / rata	Bermuatan	40 km / jam
	Kosong	60 km / jam
Menanjak	Bermuatan	20 km / jam
	Kosong	40 km / jam
Menurun	Bermuatan	20 km / jam
	Kosong	40 km / jam

Wheel Loader Komatsu WA600 :

Kapasitas bucket	$q_1 = 5,7 \text{ m}^3$
Waktu siklus	$C_{ms} = 0,65 \text{ menit}$
Faktor bukset	$k = 0,9$
Efisiensi	$E = 0,83$

Dump truck Caterpillar 769D :

Payload capacity 36,8 ton

Perhitungan waktu siklus :

## 1) Waktu pemuatan (loading time)

$$C_{ms} = n \times C_s$$

$$n = \frac{\text{Kapasitas truck rata-rata}}{\text{Kap.bucket} \times \text{faktor bucket}} = \frac{36,8 (\text{ton}) (\text{max payload})}{5,7 \times 0,9 \times 1,6}$$

$$= 4,4 \text{ diambil angka bulat } 4$$

$$C_{ms} = 4 \times 0,65 = 2,60 \text{ menit}$$

## 2) Waktu pengangkutan dan waktu kembali :

Jarak angkut terbagi :	jalan datar	=	600 meter
	jalan mendaki	=	100 meter
	jalan datar lagi	=	300 meter
Jarak kembali terbagi :	Jalan datar	=	300 meter
	Jalan menurun	=	100 meter
	Jalan datar lagi	=	600 meter

Dengan dasar kecepatan maksimum dari kurva Travel Performance Cat.769D dan faktor kecepatan maka dapat dibuat tabel sebagai berikut:

Operasional Dump truck	Keadaan jalan	Jarak (m)	G.R. (%)	R.R. (%)	Total R (%)	Gigi Kec.	Kec. Maks km/jam	Fakt. Kec.	Kec. Rata-2 km/jam	Waktu dibutuhkan (menit)
Mengangkut	Rata	600	0	5	5	F5	33	0,60	19,8	1,82
	Mendaki	100	10	5	15	F2	11	0,60	6,6	0,91
	Rata	300	0	5	5	F5	33	0,70	23,1	0,78
Kembali	Rata	300	0	5	5	F6	54	0,50	27	0,67
	Menurun	100	-10	5	-5	F6	Max 40	0,75	30	0,2
	Rata	600	0	5	5	F6	54	0,8	43,2	0,83
									<b>Total</b>	<b>5,21</b>

\* Kecepatan maksimum kembali waktu menurun yang diijinkan = 40 km/jam, sedang pada kurva pada saat menurun dengan beban kosong dapat menggunakan gigi F6 dengan kecepatan maksimum 67 km/jam. Maka dengan pembatasan tersebut tinggal mengatur gas saja agar kecepatan dipertahankan pada gigi F6 dengan kecepatan 40 km/jam

3) Waktu dumping dan waktu mengambil posisi pengisian

Kondisi kerja baik, maka dari tabel ditentukan :

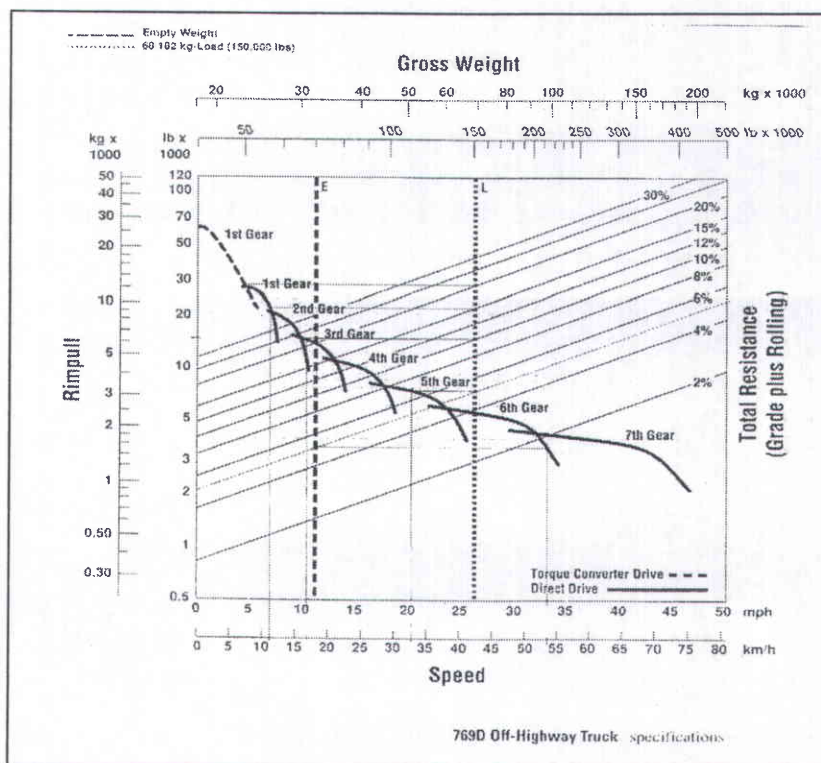
Waktu dumping :  $t_1 = 0,7$  menit

Waktu mengambil posisi :  $t_2 = 0,3$  menit

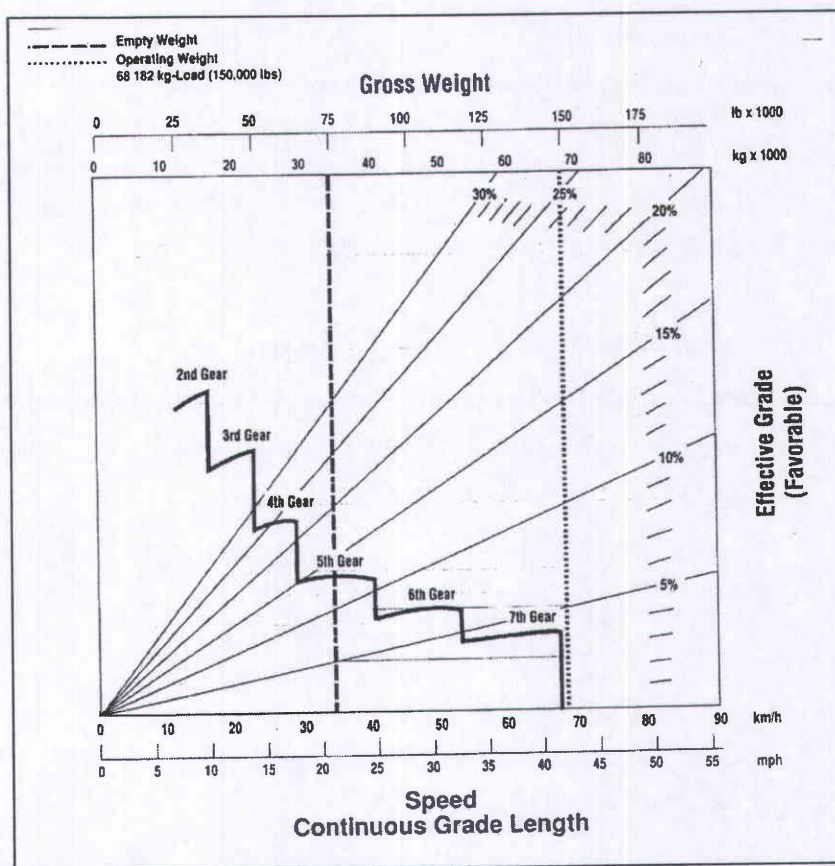
$$\begin{aligned} \text{Jadi waktu siklus dump truck} &= 2,60 + 5,21 + 0,7 + 0,2 \\ &= 9,01 \text{ menit} \end{aligned}$$

Maka produksi dump truck =

$$\begin{aligned} Q &= q \times \frac{60}{C_{mt}} \times E_t = 4 \times 5,7 \times 0,9 \times \frac{60}{9,01} \times 0,83 \\ &= 113,4 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$



Gambar 3 - Kurva Rimpull – Kecepatan Cat. 769D Off-Highway Dump Truck



Gambar 4 – Retarder Performance Caterpillar 769D Off-Highway

5. Perhitungan Produksi Motor Grader

Motor Grader adalah alat berat konstruksi yang khusus dibuat untuk keperluan perataan permukaan sesuai dengan spesifikasi yang ketat.

a. Rumus Produksi :

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

dimana : Q = Produksi (m<sup>2</sup>/jam)

V = kecepatan operasi (km/jam)

Le = lebar blade efektif (m)

Lo = lebar overlap (m)

Motor grader biasa dioperasikan pada jarak yang cukup panjang, sehingga waktu yang diperlukan untuk pindah gigi diabaikan.

1) Kecepatan operasi (V)

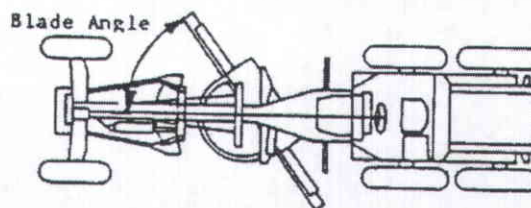
Sangat tergantung pada jenis pekerjaan yang dihadapi, dan sebagai dasar dapat dipakai kecepatan untuk berbagai pekerjaan sebagai berikut :

- Pemeliharaan jalan : 2 - 6 km/jam
- Membuat parit : 1,6 - 4 km/jam
- Finishing tebing : 1,6 - 2,6 km/jam
- Perataan lapangan : 1,6 - 4 km/jam
- Perataan permukaan/leveling : 2,0 - 8 km/jam

2) Lebar blade efektif ( $L_e$ ) dan lebar overlap ( $L_o$ )

Lebar blade efektif ( $L_e$ ) tergantung dari sudut operasi blade (lihat table)

Lebar overlap ( $L_o$ ) biasanya diambil 30 cm (0,3 m)



Tabel Lebar Blade efektif.

**TABEL – 14**  
**Lebar Blade Efektif**

Lebar Blade (m)	Lebar Blade Efektif (m)	
	Sudut Blade 60°	Sudut Blade 45°
2,2	1,9	1,6
2,5	2,2	1,8
2,8	2,4	2,0
3,05	2,5	2,2
3,1	2,7	2,2
3,4	2,9	2,4
3,7	3,2	2,6
4,0	3,5	2,8
4,3	3,7	3,0
4,9	4,2	3,5

3) Efisiensi kerja (E)

Efisiensi kerja disini hanya diperhitungkan dari kondisi kerja, dan untuk mendapatkan produksi nyata sebaiknya dilakukan pengamatan secara terus menerus di lapangan.

**TABEL – 15**  
**Efisiensi Kerja**

Kondisi Kerja	Efisiensi
Pemeliharaan jalan	0,80
Penebaran (spreading), perataan (grading)	0,70
Pembuatan parit	0,50

b. Waktu

Mengingat volume yang dipindahkan sangat bervariasi sehingga pada perhitungan produksi motor grader ini lebih ditekankan pada **waktu operasi**-nya.

Umumnya kecepatan operasinya relatif rendah dan konstan untuk mendapatkan mutu pekerjaan grading yang lebih baik

$$T = \left( \frac{D_f}{V_f} + \frac{D_r}{V_r} \right) \times \frac{N}{E} \quad \text{dimana} \quad T = \text{waktu yang diperlukan (jam)}$$

N = jumlah lintasan

$D_f$  = jarak operasi/kerja (km)

$D_r$  = jarak kembali untuk grading berikutnya (km)

$V_f$  = kecepatan rata-rata operasi (km/jam)

$V_r$  = kecepatan kembali rata-rata

E = efisiensi kerja

N dihitung dengan rumus :

$$N = \frac{W}{Le - Lo} \times n \quad \text{dimana} \quad W = \text{lebar jalan yang harus diaratakan (m)}$$

Le = lebar blade efektif (m)

Lo = lebar overlap (m)

n = jumlah lintasan yang diperlukan

Contoh :

Hitung waktu yang dibutuhkan untuk memelihara jalan tanah sepanjang 5 km lebar 8 m, jika menggunakan motor grader dengan lebar blade 4,0 m. Kecepatan operasi = 4 km/jam, dan kecepatan kembali = 12 km/jam. Pekerjaan cukup dilakukan satu lintasan, sudut blade = 60°



Perhitungan :

$$N = \frac{8}{3,5 - 0,3} \times 1 = 2,81 \text{ dibulatkan } 3 \text{ lintasan}$$

$$T = \left( \frac{5}{4} + \frac{5}{12} \right) \times \frac{3}{0,8} = 6,25 \text{ jam}$$

## 6. Perhitungan Produksi Compactor

Ada dua cara untuk menghitung produksi alat pematik (compactor) yaitu dihitung volume yang dipadatkan dan luas yang dipadatkan.

a. Perhitungan volume yang dipadatkan :

$$Q = \frac{W \cdot x \cdot V \cdot x \cdot H \cdot x \cdot 1000}{N} \cdot x \cdot E$$

dimana : Q	= Produksi (m <sup>3</sup> /jam)
V	= kecepatan operasi (km/jam)
W	= lebar efektif dari alat pematik (m)
H	= tebal material yang dipadatkan
N	= jumlah pas pemadatan
E	= efisiensi kerja

### 1) Kecepatan operasi (V)

Pada umumnya dipakai angka seperti table berikut :

Road Roller	: ± 2,0 km/jam
Tire Roller	: ± 2,5 km/jam
Vibrator Roller	: ± 1,5 km/jam
Soil Compactor	: 4,0 – 10 km/jam
Tamper	: ± 1,0 km/jam

### 2) Lebar gilap efektif (W) (*lihat tabel*)

**TABEL – 16**  
**Lebar Efektif**

Type Alat Pemasad	Lebar efektif (W)
Makadam Roller	Lebar roda gilas dikurangi 0,2 m
Tandem Roller	Lebar roda gilas dikurangi 0,2 m
Tire Roller	Jarak roda-roda paling luar dikurangi 0,3 m
Vibrator Roller (besar)	Lebar roda gilas dikurangi 0,2 m
Vibrator Roller (kecil)	Lebar roda gilas dikurangi 0,1 m
Soil Compactor	(Lebar roda gilas x 2) dikurangi 0,2 m

3) Tebal material yang dipadatkan (H)

Tebal material yang dipadatkan tergantung dari persyaratan pemadatan atau berdasarkan hasil test, biasanya antara 0,2 – 0,5 meter material lepas.

4) Jumlah pas/lintasan pemadatan

Jumlah pass pemadatan juga tergantung dari persyaratan pemadatan atau berdasarkan hasil test, biasanya dipakai tabel sebagai berikut :

**TABEL – 17**  
**Jumlah Lintasan**

Jenis alat	Lintasan
Tire Roller	3 - 5
Road Roller	4 - 8
Vibrator Roller	4 - 12
Soil Compactor	4 - 12

b. Contoh :

Sebuah alat pemadat mempunyai lebar roda gilas = 1 meter, kecepatan kerja = 1,6 km/jam, tebal pemadatan = 10 cm (padat), jumlah pas pemadatan = 6. Hitung produksi tiap jam

Perhitungan :

$$Q = \frac{W \times V \times H \times 1000 \times E}{N}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(1,0 - 0,2) \times 1,6 \times 0,1 \times 1000 \times 0,8}{6} \\ &= 17 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

c. Perhitungan berdasarkan luas yang dipadatkan:

$$Q = \frac{W \times V \times 1000 \times E}{N} \text{ m}^2/\text{jam}$$

Contoh dengan data yang sama dengan data diatas, maka produksi dapat dihitung :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{(1,0 - 0,2) \times 1,6 \times 1000 \times 0,8}{6} \\ &= 170 \text{ m}^2/\text{jam} \end{aligned}$$

### BAB III

#### KESEPADANAN/KOMBINASI ALAT-ALAT BERAT (FLEET AND MATCH)

##### A. UMUM

Dalam pelaksanaan pekerjaan pemindahan tanah mekanis (earth moving), meskipun setiap alat dioperasikan secara individual, namun tidak terlepas dari dukungan alat lainnya yang komposisi dari alat-alat berat tersebut harus sesuai sehingga dicapai efisiensi yang tinggi dari padanan alat-alat tersebut (fleet and match).

Kekeliruan dalam menentukan padanan operasi alat-alat berat, selain akan menurunkan efisiensi karena kemungkinan disatu sisi terjadi waktu tunggu yang tinggi bagi satu jenis alat-alat berat, tapi disisi lain alat-alat berat padanannya mendapat beban berlebihan, juga akan berdampak kepada masalah pelaksanaan pemeliharaan yang kemungkinan sulit dijadwalkan dengan tepat.

Alat-alat berat yang biasa dikombinasikan adalah alat-alat berat pengangkut (hauling) dan alat-alat berat pemuat (loader).

##### B. PERHITUNGAN KESEPADANAN OPERASI ALAT-ALAT BERAT

###### 1. Kesepadanan alat pengangkut (dump truck) dan pemuat (loader)

Sebagai contoh dari komposisi alat-alat berat tersebut misalkan untuk pekerjaan pemindahan tanah, untuk pengangkutan material akan menggunakan dump truck dan alat pengisi (loader) menggunakan excavator, dengan data sebagai berikut:

Kapasitas bucket excavator (backhoe) =  $0,9 \text{ m}^3$  untuk mengisi material tanah dari galian kedalam dump truck.

Faktor bucket = 1,0 dan efisiensi pengisian = 0,83

Cycle time excavator (sudut swing  $90^\circ$ )  $C_m$  = 21 detik

Waktu angkut, membongkar muatan, kembali, dan mengatur posisi pengisian dari dump truck = 6 menit

Akan ditentukan jumlah dump truck yang tepat untuk melayani satu unit excavator sehingga dicapai komposisi yang tepat dari dump truck dan excavator tersebut.

2. Dihitung dengan cara mencoba memilih dump truck dengan kapasitas yang berbeda:

a. Digunakan dump truck dengan kapasitas  $3 \text{ m}^3$

$$\times \text{ Waktu muat} = \frac{3}{0,9 \times 1,0 \times 0,83} \times \frac{21}{60} = 1,4 \text{ menit}$$

$$\times \text{ Cycle time dump truck } C_{mt} = 6 \text{ menit} + 1,4 \text{ menit} = 7,4 \text{ menit}$$

$$\times \text{ Banyaknya rit/pas pengisian excavator } n = \frac{3}{0,9 \times 1,0 \times 0,83} = 4,01 \text{ diambil angka bulat } 4$$

$$\begin{aligned} \times \text{ Banyaknya dump truck yang dibutuhkan} &= \frac{C_{mt} (\text{menit})}{C_m (\text{menit}) \times n} \\ &= \frac{7,4}{21 \times 4} \times 60 \\ &= 5,3 \text{ diambil angka bulat } 6 \end{aligned}$$

**Analisa :**

Bila menggunakan 6 buah dump truck dengan kapasitas  $3 \text{ m}^3$ :

- Waktu muat =  $6 \times 1,4 \text{ menit} = 8,4 \text{ menit}$
- Waktu hilang (dump truck) =  $8,4 - 7,4 \text{ menit} = 1 \text{ menit}$   
=  $1/8,4 = 11,90 \%$

Bila menggunakan 5 buah dump truck :

- Waktu muat =  $5 \times 1,4 \text{ menit} = 7 \text{ menit}$
- Waktu hilang (excavator) =  $7,4 - 7,0 \text{ menit} = 0,4 \text{ menit}$   
=  $0,4/7,4 = 5,4 \%$

b. Digunakan dump truck dengan kapasitas  $6 \text{ m}^3$

$$\times \text{ Waktu muat} = \frac{6}{0,9 \times 1,0 \times 0,83} \times \frac{21}{60} = 2,8 \text{ menit}$$

$$\text{ Cycle time dump truck } C_{mt} = 6 \text{ menit} + 2,8 \text{ menit} = 8,8 \text{ menit}$$

$$\begin{aligned} \times \text{ Banyaknya rit/pas pengisian excavator } n &= \frac{6}{0,9 \times 1,0 \times 0,83} \\ &= 8,03 \text{ diambil angka bulat } 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{✳ Banyaknya dump truck yang dibutuhkan} &= \frac{C_{mt} (\text{menit})}{C_m (\text{menit}) \times n} \\ &= \frac{8,8}{21 \times 8} \times 60 \\ &= 3,14 \text{ diambil angka bulat } 3 \end{aligned}$$

**Analisa :**

Bila menggunakan 3 buah dump truck :

- Waktu muat =  $3 \times 2,8 \text{ menit} = 8,4 \text{ menit}$
- Waktu hilang (dump truck) =  $8,8 - 8,4 \text{ menit} = 0,4 \text{ menit}$   
=  $0,4/8,8 = 4,45\%$

Bila menggunakan 5 buah dump truck :

- Waktu muat =  $4 \times 2,8 \text{ menit} = 11,2 \text{ menit}$
- Waktu hilang (dump truck) =  $11,2 - 8,8 \text{ menit} = 2,4 \text{ menit}$   
=  $2,4/11,2 = 21,4\%$

- c. Dengan cara yang sama dapat dibuat matrik untuk menentukan komposisi yang paling efisien

Kapasitas dump truck (m3)	Jumlah (buah)	Waktu Muat (menit)	Cycle time Dump truck (menit)	Waktu hilang (menit)		Efisiensi
				Dump truck	Excavator	
3	5	$5 \times 1,4 = 7,0$	7,4	-	0,4	0,945
3	6	$6 \times 4,4 = 8,4$	7,4	1,0	-	0,881
<b>6</b>	<b>3</b>	<b><math>3 \times 2,8 = 8,4</math></b>	<b>8,8</b>	-	<b>0,4</b>	<b>0,955</b>
6	4	$4 \times 2,8 = 11,2$	8,8	2,4	-	0,785
10	2	$2 \times 4,7 = 9,4$	10,7	-	1,3	0,879
10	3	$3 \times 4,7 = 14,1$	10,7	3,4	-	0,759

- d. Pencocokan :

- 1) Bila dipilih 3 buah dump truck kapasitas 6 m<sup>3</sup> dilayani excavator dengan kapasitas blade 0,9 m<sup>3</sup> :

$$q \times \frac{60}{C_{mt}} \times E_t \times M \geq q_1 \times k \times \frac{60}{C_m} \times E_s \text{ (halaman 61)}$$

$$6 \times \frac{60}{8,8} \times 0,83 \times 3 \geq 0,9 \times 1,0 \times \frac{60 \times 60}{21} \times 0,83$$

101,86 m<sup>3</sup> (produksi dump truck) ternyata **lebih kecil** dari 128,06 m<sup>3</sup> (produksi excavator), berarti untuk produksi yang optimal dari excavator akan banyak material terbuang (melebihi kapasitas dump truck).

Akan menjadi lebih produktif bila dipilih jumlah dump truck dengan jumlah pembulatan keatas yaitu 4 buah

- 2) Bila dipilih 4 buah dengan perhitungan seperti diatas, akan didapat :  
Produksi 4 buah dump = 135,81 m<sup>3</sup>/jam lebih besar dari produksi excavator = 128 m<sup>3</sup>/jam
  
- 3) Dalam menghadapi fleet yang belum tepat (belum match), maka pemilihan komposisi ditentukan pula dari sisi :
  - Prioritas pekerjaan, misalnya galian yang harus diutamakan maka pekerjaan galian/kegiatan excavator jangan sampai mengalami waktu tunggu yang lama, berarti total produksi dump truck harus lebih tinggi dari produksi excavator.
  - Penekanan sisi ekonomis, misalnya peralatan yang berasal dari penyewaan, harus memperhitungkan alat mana yang nilai sewanya tinggi, sehingga perlu diperhatikan agar memiliki jam operasinya yang efektif (tidak banyak idle)

## DAFTAR PUSTAKA

1. *Produktivitas Alat-alat Berat*, Pelatihan Manajemen Peralatan – Puslatjakons, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Jakarta
2. *Specification and Application Handbook*, Komatsu, Edition 14, 1992, Komatsu.Ltd – Tokyo, Japan
3. *Caterpillar Performance Handbook, Edition 31, 2000*, Caterpillar. Inc, Peoria, Illinois, USA  
Reprinted by PT. Trakindo Utama, Jakarta
4. *Construction Planning, Equipment and Methods*, Fifth Edition, Robert L. Peurifoy, Mc Graw-Hill Companies.Inc, New York, USA