

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pemindahan Tanah Mekanis

Pemindahan tanah mekanis merupakan pekerjaan yang berhubungan dengan kegiatan penggalian (*digging, breaking, loosening*), pemuatan (*loading*), pengangkutan (*hauling*), penimbunan (*dumping*), perataan (*spreading and leveling*) dan pemadatan (*compacting*) tanah atau batuan dengan menggunakan alat-alat mekanis.

Pekerjaan-pekerjaan pemindahan tanah mekanis, banyak terlihat di bidang pekerjaan bangunan sipil, seperti pembuatan jalan raya, tanggul, saluran irigasi, kanal, lapangan terbang, dan lain sebagainya. Selain itu pemindahan tanah mekanis juga dapat diaplikasikan dalam kegiatan penambangan, seperti untuk pengupasan lapisan tanah penutup, pengambilan material tambang, dan pembuatan jalan-jalan tambang.

Alat-alat mekanis yang digunakan dalam kegiatan pemindahan tanah baik dalam dunia sipil maupun tambang pada umumnya tidak jauh berbeda, dimana alat-alat yang digunakananya terdiri dari :

1. Alat Gali : berbagai macam jenis bor, *backhoe, bucket wheel excavator, dragline, power shovel*, dan sebagainya.
2. Alat Muat : Berbagai jenis *excavator, wheel loader, dragline*, dan sebagainya.
3. Alat Angkut : berbagai jenis *dump truck, power scraper, belt conveyor*, dan sebagainya.
4. Alat Garu : contohnya adalah *tractor, bulldozer* yang dilengkapi dengan alat garu.

5. Alat Gilas : *sheepfoot rollers*, *smooth steel rollers*, *segment rollers*, dan sebagainya.

3.2 Tahapan Kegiatan Penambangan

Kegiatan penambangan adalah suatu kegiatan untuk mengambil suatu material yang berharga dari dalam bumi untuk dimanfaatkan oleh manusia. Dalam kegiatan penambangan tentunya melibatkan kegiatan pemindahan tanah atau material dengan menggunakan alat mekanis, dari mulai menggali material hingga pada kegiatan penimbunan material hasil tambang itu sendiri. Pada umumnya tahapan kegiatan penambangan pada secara garis besar adalah sebagai berikut :

3.2.1 Pengupasan Tanah Penutup

Pengupasan tanah penutup dimaksudkan untuk membuang tanah penutup agar endapan bahan galiannya terkupas dan mudah untuk ditambang menggunakan kombinasi alat-alat pemindahan tanah mekanis (alat gali-muat, dan alat angkut).

3.2.2 Penggalian atau Penambangan

Penggalian atau penambangan adalah kegiatan pengambilan endapan bahan galian atau bijih emas dari kulit bumi dan dibawa ke permukaan untuk dimanfaatkan atau untuk diproses selanjutnya. Penggalian dapat dilakukan dengan:

1. Alat gali non mekanis seperti linggis, belincong, cangkul, dll.
2. Alat gali mekanis seperti *ripper*, *power shovel*, *backhoe*, dll.
3. Pemboran dan peledakan.

3.2.3 Kegiatan Pemuatan dan Pengangkutan

Setelah dilakukan penggalian lalu kemudian dimuat ke dalam alat angkut dengan alat muat seperti *wheel loader*, *power shovel*, *hydraulic shovel*, *track loader*, *backhoe* dll; dan selanjutnya diangkut dengan alat angkut seperti *dump truck*, *belt conveyor*, *lori*, dll; ketempat penimbunan (*disposal*) atau pengolahan selanjutnya.

3.3 Analisis Tempat Kerja

Agar pekerjaan pemindahan tanah dan batuan dengan menggunakan alat mekanis dapat berjalan dengan baik, teratur dan optimal, maka harus dipelajari dan diamati dengan teliti kondisi kerjanya terlebih dahulu. Banyak faktor yang perlu diamati untuk menganalisis tempat kerja alat mekanis, terutama untuk pekerjaan pemindahan tanah mekanis di lokasi tambang, dimana faktor-faktor tersebut akan dijelaskan pada sub-bab berikut ini :

3.3.1 Cuaca

Cuaca merupakan faktor yang perlu diperhatikan, karena akan berpengaruh terhadap efisiensi kerja mesin maupun operator, karena cuaca sendiri dapat menghambat suatu pekerjaan di lapangan, contohnya adalah ketika musim hujan, maka jam kerja akan terganggu, dan hari-hari kerja akan lebih pendek sehingga mengakibatkan berkurangnya produksi, atau sebaliknya jika pada musim kemarau maka akan terdapat banyak debu di jalan tambang, maka perlu dilakukan penyiraman terhadap jalan tersebut, dan tentunya dapat menghambat kegiatan penambangan yang sedang berlangsung.

Jika musim kemarau, jalan angkut menjadi kering dan berdebu yang mengakibatkan jarak pandang operator terganggu sehingga kecepatan alat angkut berkurang dan secara otomatis *cycle time* bertambah. Sedangkan bila musim hujan tiba, kondisi material yang seperti itu menyebabkan kondisi jalan produksi sangat basah dan licin bahkan dapat menyebabkan operasi tertunda dikarenakan kondisi jalanan yang sangat licin dan tidak memungkinkan untuk dilewati terutama untuk kondisi jalan yang berupa tanjakan maupun turunan.

3.3.2 Geometri dan Lebar Jalan Angkut

Keadaan jalan yang akan dilalui sangat mempengaruhi daya angkut alat-alat angkut yang dipakai. Bila jalur jalan baik alat angkut dapat bergerak lebih cepat. Hal

ini akan menentukan waktu edar (*cycle time*) yang diperlukan untuk pengangkutan material yang tentunya akan berpengaruh terhadap produksi alat yang digunakan.

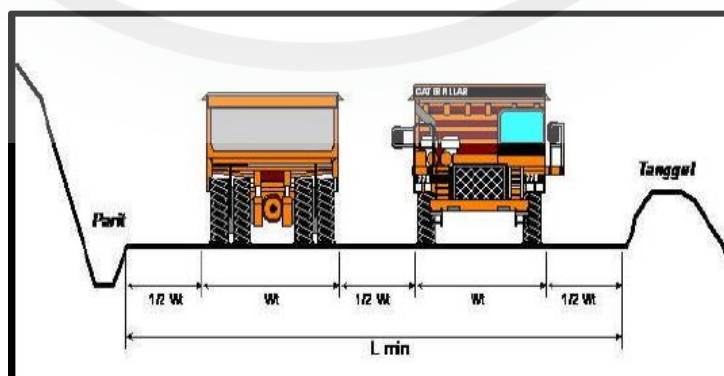
Pembuatan sarana jalan mempunyai arti yang sangat penting, baik jalan yang akan digunakan untuk pengangkutan bijih nikel ke *stockpile* maupun pengangkutan lapisan penutup ke penimbunan (*disposal*). Untuk itu perlu diperhitungkan geometri jalan yang akan dibuat.

1. Kemiringan Jalan

Kemiringan jalan adalah besarnya gaya berat yang melawan atau membantu gerak kendaraan karena kemiringan jalur jalan yang dilaluinya. Kalau jalur jalan itu naik disebut kemiringan positif, maka tahanan kemiringan akan melawan gerak kendaraan sehingga memperbesar *tractive effort* atau rimpull yang diperlukan. Sebaliknya jika jalur jalan itu turun disebut kemiringan negatif, maka tahanan kemiringannya akan membantu gerak kendaraan artinya mengurangi rimpull yang dibutuhkan. Pada setiap alat terdapat kemampuan atau daya tanjak, yang memungkinkan alat tersebut mampu beroperasi pada kemiringan jalan tertentu.

2. Lebar Jalan Angkut pada Jalan Lurus

Untuk menentukan lebar jalan minimum yang dipakai sebagai jalur ganda atau lebih menurut "Aashto Manual Rural High Way Design" pada jalan lurus di tepi kiri dan kanan jalan harus ditambah dengan setengah lebar alat angkut (Gambar 3.1).



Sumber : Awang Suwandhi, Perencanaan Jalan Tambang, 2004

Gambar 3.1
Lebar Jalan Angkut Lurus

Rumus yang dipakai :

$$L (m) = n (Wt) + \{(n + 1) (1/2 \times Wt)\} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

L(m) = lebar jalan angkut minimum, (m)

n = jumlah jalur

Wt = lebar alat angkut, (m)

3. Lebar Jalan Angkut pada Belokan

Lebar jalan angkut pada belokan atau tikungan selalu lebih besar daripada lebar jalan lurus. Untuk jalur ganda, maka lebar jalan minimum pada belokan mengacu pada desain lebar jalan untuk *articulated vehicle* (Tabel 3.1) berdasarkan radius dari *articulated vehicle*.

Tabel 3.1
Desain lebar jalan untuk *Articulated Vehicle*

Radius On Inner Edge Of Pavement (R) (Feet)	One-Lane Haulageway, Vehicle Category (Feet)			Two-Lane Haulageway, Vehicle Category (Feet)		
	2	3	4	2	3	4
25	38	68	86	66	119	151
50	32	57	71	56	99	124
100	28	48	58	50	83	101
150	27	44	52	47	76	91
200	26	42	49	46	73	85
Tangent	25	41	41	44	71	72

Note : 2 indicates category 2 Vehicles 100.000 - 200.000 pounds GVW
3 indicates category 2 Vehicles 200.000 - 400.000 pounds GVW
4 indicates category 2 Vehicles > 400.000 pounds GVW

Sumber : W.W. Kaufman and J.C Ault, *Design of Surface Mine Haulage Roads-A Manual*, 1977

3.3.3 Kondisi Material

Setiap jenis tanah atau batuan pada dasarnya memiliki sifat fisik dan mineralogi yang berbeda-beda. Oleh sebab itu sebaiknya jika akan melakukan pekerjaan pemindahan tanah atau material dengan alat mekanis maka harus diketahui terlebih dahulu jenis serta kondisi materialnya, seperti :

1. Ukuran dan Bentuk Butir Material

Salah satu faktor penting dari material yang perlu diamati adalah ukuran dan bentuk butir material tersebut, karena akan berpengaruh terhadap banyaknya material untuk dapat menempati suatu ruangan tertentu. Contohnya, jika material yang memiliki ukuran butiran yang halus dengan bentuk butir yang bundar, maka volume material tersebut dapat hampir sama dengan volume ruangan yang ditempatinya, karena tidak akan banyak terdapat pori (*void*) pada tumpukan material yang berada pada ruangan yang ditempatinya. Sedangkan material dengan ukuran yang kasar dan bentuk butir yang menyudut, maka volumenya akan lebih kecil dari nilai volume ruangan yang ditempatinya karena akan terdapat banyak pori (*void*) pada tumpukan material yang berada pada ruangan yang ditempatinya. Ukuran dan bentuk butir ini akan sangat berpengaruh terhadap faktor pengisian *bucket* (*bucket fill factor*) alat gali-muat. Adapun pengelempokan ukuran butir material menurut **Uden Wentworth**, yang disebut dengan skala Wentworth yang dapat dilihat pada (Tabel 3.2)

Tabel 3.2
Skala Wentworth

Diameter (mm)	Material
≥ 256	Bongkah
64	Berangkal
4	Kerakal
2	Kerikil
1	Pasir sangat kasar
0,5	Pasir kasar
0,25	Pasir sedang
0,125	Pasir halus
0,0625	Pasir sangat halus
0,00395	Lanau
1/256	Lempung

Sumber : C.K. Wentworth, 1922

2. Kekerasan Material

Kekerasan material adalah faktor lainnya yang penting untuk diamati, karena akan berpengaruh juga terhadap kegiatan pemindahan material dengan alat mekanis, dimana dengan diketahuinya kekerasan material yang akan digali maka dapat ditentukan alat apa yang akan digunakan untuk menggali atau membeaikan material tersebut. Karena tingkat kekerasan material bervariasi, maka sering dilakukan pengelompokan material berdasarkan mudah atau sukarnya material tersebut untuk digali dengan peralatan mekanis seperti berikut ini :

- a. Lunak (*soft*) atau mudah digali (*easy digging*), misalnya tanah atas atau *top soil*, pasir (*sand*), lempung pasir (*sandy clay*), pasir lempungan (*clayed sand*).
- b. Agak keras atau *medium hard digging*, misalnya tanah liat atau lempung (*clay*) yang basah dan lengket. Batuan yang sudah lapuk (*weathered rock*).
- c. Sukar digali atau keras (*hard digging*), misalnya : batu sabak (*slate*), material yang kompak (*compacted material*), batuan sedimen (*sedimentary rock*), konglomerat (*conglomerate*), breksi (*breccia*).
- d. Sangat sukar digali atau sangat keras (*very hard digging*) atau batuan segar (*fresh rock*) yang memerlukan pemboran dan peledakan sebelum dapat digali, misalnya: batuan beku segar (*fresh igneous rock*), batuan malihan segar (*fresh metamorphic rock*).

3.4 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Produksi Alat

Salah satu tolok ukur yang dapat dipakai untuk mengetahui baik buruknya hasil dari suatu pekerjaan pemindahan tanah mekanis adalah besarnya produktivitas

yang dapat dicapai oleh alat yang digunakan. Oleh sebab itu usaha dan upaya untuk mencapai produksi yang tinggi selalu menjadi perhatian yang khusus.

Untuk memperkirakan dengan lebih teliti produktivitas alat yang telah dibahas sebelumnya perlu dipelajari faktor-faktor yang secara langsung dapat mempengaruhi hasil kerja alat tersebut. Faktor-faktor tersebut meliputi:

3.4.1 Tahanan Gelinding (*Rolling Resistance*)

Tahanan gelinding adalah segala gaya-gaya luar (*external forces*) yang berlawanan dengan gerak kendaraan yang berjalan di atas jalur jalan atau permukaan material, dengan sendirinya yang mengalami tahanan (*rolling resistance*) ini secara langsung adalah bagian ban. Tahanan gelinding ini tergantung dari banyak hal, diantaranya yang terpenting adalah :

1. Keadaan jalan, yaitu kekerasan dan kemulusan permukaan, semakin keras dan mulus atau rata jalan tersebut, semakin kecil tahanan gelinding. Macamnya material yang digunakan untuk membuat jalan tidak selalu berpengaruh. yaitu:
 - a. Kalau memakai ban karet yang akan berpengaruh adalah : ukuran ban, tekanan dan keadaan permukaan bannya, apakah masih baru atau sudah gundul, dan macam kembangan pada ban tersebut.
 - b. Jika memakai "*crawler pull*" maka keadaan dan macam "*track*" kurang berpengaruh, tetapi yang lebih berpengaruh adalah keadaan jalan.

Nilai tahanan gelinding (*rolling resistance*) dapat diketahui dengan cara perhitungan menggunakan rumus di bawah ini :

$$RR = W \times r \dots\dots\dots (2)$$

$$RP_{RR} = RR \times W \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

RP_{RR} = Rimpul *Rolling Resistance* (lbs)

RR = Tahanan Gelinding (lbs/ton)

W = Berat Kendaraan (ton)

r = Koefisien Tahanan Gelinding (Tabel 3.3)

Berikut adalah tabel yang menunjukkan koefisien tahanan gelinding (Tabel 3.3) dan angka rata-rata tahanan gelinding (Tabel 3.4), dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 3.3
Koefisien Tahanan Gelinding

Tipe dan Keadaan Landasan	CRR	
	Roda Besi	Roda Ban
Rel Besi	0,01	-
Beton	0,02	0,02
Jalan, Macadam	0,03	0,03
Perkerasan Kayu	0,03	-
Jalan Datar, Tanpa Perkerasan, Kering	0,05	0,04
Landasan Tanah Kering	0,1	0,04
Landasan Tanah Gembur	0,12	0,05
Landasan Tanah Lunak	0,16	0,09
Kerikil, Tidak dipadatkan	0,15	0,12
Pasir, Tidak dipadatkan	0,15	0,12
Tanah Basah, Lumpur	-	0,16

Sumber : Rochmanhadi, *Alat Berat dan Penggunaannya*, 1992

Tabel 3.4
Angka Rata-rata Tahanan Gelinding (*Rolling Resistance*) untuk Berbagai Macam Jalan

Jenis Jalan	RR Untuk Ban Karet	
	(lb/ton)	(Kg/ton)
Permukaan Jalan yang keras, halus tanpa adanya kelebihan beban yang terjadi di atasnya, penyiraman ketika berdebu dan terawat	40	20
Jalan yang kokoh, permukaan yang halus, dengan sedikit kotoran yang melapisi permukaan, agak elastis dan bergelombang, cukup terawat dan penyiraman ketika berdebu	65	35
Jalan kotor, bergelombang, kasar, jarang dilakukan perawatan dan penyiraman. Desakan ban mencapai 1 " (25 mm) atau 2 " (50 mm).	100	50
Jalan kotor dan rusak, tidak ada perawatan dan pemadatan. Desakan ban mencapai 4 " (100 mm) atau 6 " (150 mm)	150	75
Jalan buruk, lunak, berlumpur, tanpa ada perawatan.	200 – 400	100 - 200

Sumber : Partanto P., *Pemindahan Tanah Mekanis*, 1993

3.4.2 Tahanan Kemiringan (*Grade Resistance*)

Tahanan Kemiringan adalah besarnya gaya berat yang melawan atau membantu gerak kendaraan karena kemiringan jalur jalan yang dilaluinya, tahanan kemiringan tergantung pada dua faktor :

1. Besarnya kemiringan yang biasanya dinyatakan dalam persen (%) Kemiringan 1 % berarti jalur itu naik atau turun 1 meter untuk setiap jarak mendatar sebesar 100 meter atau naik/turun 1 ft untuk setiap 100 ft jarak mendatar.
2. Berat kendaraan itu sendiri yang dinyatakan dalam "gross ton" Untuk mengetahui besar tahanan kemiringan maka dapat kita hitung dengan menggunakan rumus perhitungan dibawah ini :

$$GR = W \times \alpha \dots\dots\dots (4)$$

$$RP_{GR} = W \times GR \times \alpha \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

RP_{GR} = Rimpul *Grade Resistance* (lbs)

GR = Tahanan Kelandaian (*grade resistance*) (lbs/ton)

W = Berat kendaraan (ton)

α = Kemiringan (%)

3.4.3 Percepatan (*Acceleration*)

Adalah waktu yang diperlukan untuk mempercepat kendaraan dengan memakai kelebihan rimpul yang tidak dipergunakan untuk menggerakkan kendaraan pada keadaan jalur tertentu. Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mempercepat kendaraan tergantung dari beberapa faktor:

1. Berat kendaraan; semakin berat, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mempercepat kendaraan
2. Kelebihan rimpull yang ada semakin besar rimpull yang berlebihan, semakin cepat kendaraan itu dapat dipercepat, jadi jika kelebihan rimpull itu tidak ada,

maka percepatanpun tidak akan timbul, artinya kendaraan tersebut tidak dapat dipercepat.

$$RP_{AR} = W \times AR \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

RP_{AR} = Rimpul *Acceleration*

AR = Percepatan (*Acceleration*)

W = Berat kendaraan (ton)

3.4.4 *Rimpull*

Yaitu besarnya kekuatan tarik (*pulling force*) yang dapat diberikan oleh mesin suatu alat kepada permukaan roda atau ban penggeraknya yang menyentuh permukaan jalur jalan. Bila *coefficient of traction* cukup tinggi untuk menghindari terjadi selip, maka rimpul (RP) maksimum adalah fungsi dari tenaga mesin (HP) dan *gear-ratios (versnelling)* antara mesin dan roda-rodanya. Tetapi jika selip, maka rimpul maksimum akan sama dengan besarnya tenaga pada roda penggerak dikalikan *coefficient of traction*.

Rimpul biasanya dinyatakan dalam "*pounds*" (lbs), dan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$RP = \frac{HP \times 375 \times Eff}{V} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

RP = Rimpul (lb)

HP = Tenaga Mesin (HP)

375 = Angka Konversi

Eff = Efisiensi Mesin (%)

V = Kecepatan (mph)

3.4.5 Efisiensi Kerja (*Job Efficiency*)

Efisiensi kerja adalah penilaian terhadap pelaksanaan suatu pekerjaan atau merupakan perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu yang tersedia dan dinyatakan dalam persen. Waktu kerja efektif adalah waktu yang benar-benar dipergunakan untuk berproduksi atau waktu produktif dikurangi dengan waktu yang terbuang oleh adanya hambatan-hambatan. Dari hasil pengamatan tentu terdapat keterlambatan dalam penggunaan jam kerja yang tersedia, sehingga jam kerja efektif berkurang. Hambatan-hambatan yang terjadi selama jam kerja dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

1. Hambatan yang Dapat Dihindari

Hambatan yang dapat dihindari merupakan hambatan yang menyebabkan waktu produksi efektif berkurang, hambatan ini disebabkan karena faktor kerusakan alat dan operator. Hambatan-hambatan yang dapat dihindari dapat digolongkan sebagai berikut :

a. Hambatan Karena Faktor Alat (Faktor Teknis)

Hambatan karena faktor alat (teknis) adalah waktu hambatan yang terjadi karena kerusakan alat sehingga alat berhenti beroperasi dan membutuhkan waktu untuk perbaikan. Terjadinya hambatan ini menyebabkan pengurangan dalam waktu kerja sehingga menurunkan waktu produksi efektif alat yang menyebabkan efisiensi kerja alat rendah.

b. Hambatan Karena Faktor Operator (Non Teknis)

Hambatan karena faktor operator (non teknis) adalah hambatan yang sering terjadi karena perilaku dari operator yang kurang disiplin yang menyebabkan menurunnya waktu produktif yang tersedia. Hambatan non teknis yang sering terjadi antara lain terlambat awal, istirahat kerja lebih awal, terlambat awal kerja setelah istirahat dan mengakhiri kerja lebih awal.

2. Hambatan Yang Tidak Dapat Dihindari

Hambatan yang tidak dapat dihindari adalah hambatan yang menyebabkan tidak dapat beroperasinya peralatan meskipun kondisi alat dalam keadaan baik dan siap beroperasi. Hambatan ini antara lain disebabkan karena proses pemeliharaan alat (*preventif maintenance*), faktor alam (cuaca dan bencana), atau dihentikannya operasi karena pertimbangan faktor keselamatan kerja.

Dengan memperhitungkan hambatan tersebut, maka waktu kerja efektif dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$W_e = W_p - W_h \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

- W_e = Waktu kerja efektif, (menit)
- W_p = Waktu produktif / waktu tersedia, (menit)
- W_h = Waktu hambatan, (menit)

Dari data hambatan yang dapat dihindari maupun tidak dapat dihindari, maka didapat waktu kerja efektif. Efisiensi kerja sangat berpengaruh terhadap tercapainya produksi. Tinggi rendahnya efisiensi kerja tergantung pada faktor motivasi dan disiplin kerja operator, sedangkan produktivitas kerja tergantung kepada tempat kerja, keadaan material digali dan dimuat serta pengalaman itu sendiri. Adapun penggolongan efisiensi kerja dapat dilihat pada (Tabel 3.5). Untuk menghitung efisiensi kerja digunakan rumus sebagai berikut :

$$E = \frac{W_e}{W_p} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

- E = Efisiensi Kerja, (%)
- W_e = Waktu kerja efektif, (menit)
- W_p = Waktu kerja produktif (menit)

Tabel 3.5
Efisiensi Kerja (*Job efficiency*)

Kondisi Pekerja	Kondisi Tata Laksana			
	Baik Sekali	Baik	Sedang	Buruk
Baik Sekali	0,84	0,81	0,75	0,70
Baik	0,78	0,75	0,71	0,65
Sedang	0,72	0,69	0,65	0,60
Buruk	0,63	0,61	0,57	0,52

Sumber : Rochmanhadi, *Alat Berat dan Penggunaannya*, 1992

3.4.6 Efisiensi Mekanis (*Mechanical Efficiency*)

Efisiensi mekanis merupakan faktor yang sulit ditentukan, karena dipengaruhi oleh berbagai hal seperti keterampilan operator, perbaikan dan penyetelan alat, keterlambatan kerja dan sebagainya. Namun berdasarkan data-data serta pengalaman dapat ditentukan efisiensi kerja yang mendekati kenyataan.

Dalam hubungan dengan efisiensi kerjanya, maka perlu juga diketahui mengenai kesediaan dan penggunaan alat mekanis. Karena hal ini mempunyai nilai kerja yang bersangkutan. Beberapa pengertian mengenai ketersediaan (*availability*) dan penggunaan alat adalah sebagai berikut :

1. Ketersediaan Mekanis (*Mechanical of Availability*)

Merupakan suatu cara untuk mengetahui kondisi mekanis yang sesungguhnya dari alat yang sedang dipergunakan, dapat dinyatakan dengan persamaan

$$M.A = \frac{W}{W + R} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

2. Ketersediaan Fisik (*Physical of Availability*)

Kesediaan fisik merupakan catatan mengenai keadaan fisik dari alat yang sedang dipergunakan. Kesediaan fisik pada umumnya selalu lebih besar daripada kesediaan mekanis, dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P.A = \frac{W + S}{W + R + S} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

3. Ketersediaan Penggunaan (*Use of Availability*)

Kesediaan penggunaan menunjukkan berapa persen (%) waktu yang dipergunakan oleh suatu alat untuk beroperasi pada saat alat tersebut dapat dipergunakan (tidak rusak), dinyatakan dengan persamaan:

$$U.A = \frac{W}{W + S} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

4. Penggunaan Efektif (*Effective of Utilization*)

Penggunaan efektif menunjukkan berapa persen (%) dari seluruh waktu kerja yang tersedia dapat dipergunakan untuk kerja produktif, dinyatakan dengan persamaan.

$$E.U = \frac{W}{W + R + S} \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan :

W = Jam kerja, yaitu waktu yang benar-benar digunakan untuk bekerja termasuk dari tempat kerja, dinyatakan dalam jam.

R = Jam reparasi (waktu perbaikan), yaitu waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan, penggantian suku cadang, dinyatakan dalam jam.

S = Waktu menunggu, yaitu waktu di mana suatu alat tersedia untuk dioperasikan, tetapi tidak digunakan karena alasan tertentu seperti hujan deras, tempat kerja belum siap dan sebagainya, dinyatakan dalam jam.

3.4.7 Faktor Pengembangan (*Swell Factor*)

Material di alam (*insitu*) masih dalam keadaan padat yang apabila dilakukan penggalian, maka akan terjadi perubahan volume yang disebabkan oleh pengembangan material. Faktor yang mempengaruhi pengembangan volume tanah penutup ini adalah ukuran butir, kadar air, dan bentuk butir.

Volume material yang harus dipindahkan biasanya dihitung berdasarkan keadaan *insitu*. Untuk menghitung produksi setiap alat gali-muat, dan alat angkut

yang digunakan, maka besarnya faktor pengembangan (*swell factor*) material harus diketahui karena yang ditangani oleh alat gali-muat dan alat angkut adalah material lepas hasil penggalian. Untuk menentukan nilai faktor pengembangan (*swell factor*) material dapat digunakan persamaan berikut :

$$SF = \frac{Vl}{Vi} \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

$$SF = \frac{\rho l}{\rho i} \times 100\% \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan :

SF = Faktor pengembangan (*swell factor*) (%)

Vi = Volume keadaan *insitu* (BCM)

Vl = Volume keadaan *loose* (LCM)

pi = *Density insitu* (ton/BCM)

pl = *Density loose* (ton/LCM)

Faktor pengembangan tersebut perlu diketahui karena volume material yang diperhitungkan pada waktu penggalian selalu volume aslinya di alam. Sedangkan apa yang harus diangkut adalah material yang telah mengembang karena digali, dan alat angkut sanggup membawa material tersebut sebesar kapasitas munjung (*Heaped Capacity*). Jadi apabila kapasitas munjung dikalikan dengan faktor pengembangan material yang diangkutnya akan diperoleh volume sebenarnya yang diangkut.

Tabel 3.6
Bobot Isi dan Faktor Pengembangan dari Berbagai Material

Macam Material	Bobot Isi (density lb/cu yd, Insitu)	Swell factor (in-bank correction factor)
Bauksit	2.700 – 4.325	0,75 (75%)
Tanah Liat, Kering	2.300	0,85
Tanah Liat, Basah	2.800 – 2.300	0,82 – 0,80
Antrasit (<i>Antrachite</i>)	2.200	0,74
Batubara Bituminus (<i>Bituminous Coal</i>)	1.900	0,74
Bijih Tembaga (<i>Cooper Ore</i>)	3.800	0,74
Tanah Biasa, Kering	2.800	0,85
Tanah Biasa, Basah	3.370	0,85

Macam Material	Bobot Isi (density lb/cu yd, Insitu)	Swell factor (In-bank correction factor)
Tanah Biasa Bercampur Pasir dan Kerikil (<i>Gravel</i>)	3.100	0,90
Kerikil Kering	3.250	0,89
Kerikil Basah	3.600	0,88
Granit, Pecah-pecah	4.500	0,67 – 0,56
Hematit, Pecah-pecah	6.500 – 8.700	0,45
Bijih Besi (<i>Iron Ore</i>), Pecah-pecah	3.600 – 5.500	-0,45
Batu Kapur, Pecah-pecah	2.500 – 4.200	0,60 – 0,57
Lumpur	2.160 – 2.970	0,83
Lumpur, Sudah ditekan (<i>Packed</i>)	2.970 – 3.510	0,83
Pasir, Kering	2.200 – 3.250	0,89
Pasir, Basah	3.300 – 3.600	0,88
Serpih, Shale	3.000	0,75
Batu Sabak (<i>Slate</i>)	4.590 – 4.860	0,77

Sumber : Partanto P., *Pemindahan Tanah Mekanis*, 1993

3.4.8 Waktu Edar (*Cycle Time*)

Cycle time merupakan waktu yang dibutuhkan oleh alat mekanis untuk melakukan satu siklus kegiatan, waktu edar alat mekanis itu tergantung dari jenis alat dan kondisi tempat alat tersebut beroperasi, serta jenis material yang ditangani oleh alat tersebut.

1. Waktu Edar Alat Gali-Muat

Untuk memperkirakan produksi alat gali-muat, harus dilakukan pengamatan terhadap gerakan dan waktu pemuatan (*loading time*) alat gali-muat meliputi berapa bagian, yaitu :

- a. Waktu menggali (*digging time*)
- b. Waktu putar/isi (*swing time/loaded*)
- c. Waktu pengosongan/tumpah (*dumping time*)
- d. Waktu putar/kosong (*swing time/empty*)

Cara Perhitungan waktu pemuatan (*loading time*) :

$$C_m = A + B + C + D \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan :

C_m = Waktu Pemuatan (*loading time*) (detik)

A = Waktu menggali (*digging time*) (detik)

B = Waktu putar isi (*swing time/loaded*) (detik)

C = Waktu menumpahkan material (*dumping time*) (detik)

D = Waktu putar kosong (*swing time/empty*) (detik)

Waktu menggali dihitung mulai, *bucket* dari alat gali-muat menyentuh permukaan tanah yang siap untuk menggali dan berakhir bila *bucket* dari alat gali-muat terisi penuh. Waktu berputar terus dihitung hingga *bucket* dari alat gali-muat mulai menumpahkan muatannya kedalam *dump truck*. Waktu pengosongan terus dihitung hingga muatannya habis ditumpahkan. Sedangkan waktu berputar *bucket* dalam keadaan kosong dihitung terus, hingga posisi *bucket* dari alat gali-muat kembali dan siap untuk melakukan pemuatan selanjutnya.

2. Waktu Edar Alat Angkut

Untuk memperkirakan produksi alat angkut, harus dilakukan pengamatan terhadap gerakan dan waktu edar (*cycle time*) alat angkut meliputi beberapa bagian diantaranya Waktu edar alat angkut, dalam hal ini *dump truck* dihitung dari gerakan :

- a. Waktu untuk pengisian bak (*loading time*)
- b. Waktu untuk mengangkut material (*hauling time*)
- c. Waktu untuk mengosongkan bak (*dumping time*)
- d. Waktu kembali kosong (*returning time*)
- e. Waktu atur posisi dan tunggu pemuatan (*spot and delay time*)

$$C_a = A + B + C + D + E \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan :

C_a = Waktu edar (*cycle time*), (detik)

A = Waktu pengisian bak (*loading time*) (detik)

B = Waktu mengangkut material (*hauling time*) (detik)

C = Waktu mengosongkan bak (*dumping time*) (detik)

D = Waktu kembali kosong (*returning time*) (detik)

E = Waktu atur posisi dan tunggu pemuatan (*spot and delay time*) (detik)

Waktu pengisian dihitung mulai alat-muat menumpahkan muatan ke dalam *dump truck* dan berakhir bila *dump truck* bergerak dari tempat alat muat, dimana waktu pengangkutan mulai dihitung hingga *dump truck* berhenti pada tempat penimbunan (*disposal*) maupun *stockpile*, waktu pengosongan dihitung termasuk waktu berputar, mundur dan mengosongkan muatan. Sedangkan waktu kembali ditentukan bila *dump truck* bergerak dari tempat penimbunan (*disposal*) atau *stockpile* dan berakhir bila berhenti pada tempat pengisian di depan alat muat. Waktu menunggu termasuk waktu yang dibutuhkan untuk penyesuaian pada posisi pengisian.

3.4.9 Faktor Pengisian (*Fill Factor*)

Faktor pengisian (*Fill Factor*) adalah perbandingan antara volume material yang dapat ditampung terhadap kemampuan tampung secara teoritis. Faktor pengisian ini dapat mempengaruhi produksi alat gali-muat dan angkut.

Fill Factor sebagian besar dipengaruhi oleh material yang akan dimuat oleh alat muat itu sendiri, dimana seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, jika ukuran butir material semakin halus dan memiliki bentuk butir yang membulat, maka nilai *fill factor* akan mendekati atau sama dengan 1 (satu), artinya adalah volume material yang dimuat ke dalam mangkuk alat muat itu sama dengan volume teoritis atau kapasitas asli mangkuk alat muat tersebut, karena kemungkinan tumpukan material dalam mangkuk tersebut hanya terdapat sedikit atau mungkin tidak ada pori (*void*). Sedangkan hal sebaliknya terjadi jika material yang dimuat itu memiliki ukuran butir yang kasar dan bentuk butir yang menyudut, maka nilai *fill factor* akan kurang dari 1 (satu), artinya adalah volume material yang dimuat ke dalam mangkuk alat muat tidak sama dengan atau kurang dari kapasitas asli mangkuk

tersebut, hal ini dikarenakan akan terdapat banyak pori (*void*) pada tumpukan material yang dimuat ke dalam mangkuk tersebut, sehingga menyebabkan volume material yang dimuat ke dalam mangkuk alat muat tidak maksimal.

Pernyataan bahwa besar atau kecilnya nilai *fill factor* ini dipengaruhi oleh ukuran butir dan bentuk butir material yang dimuat ke dalam mangkuk alat muat, dipertegas oleh hasil penelitian menurut **Caterpillar Performance Handbook, 2017**, dimana nilai *fill factor* dikelompokkan berdasarkan berdasarkan jenis material, seperti pada Tabel 3.7 berikut ini :

Tabel 3.7
Faktor Isian Mangkuk (*Fill Factor*) Excavator

Material	Fill Factor Range
Moist Loam or Sandy Clay	100 – 110 %
Sand and Gravel	95 – 100 %
Hard, Tough Clay	80 – 90 %
Rock – Well Blasted	60 – 75 %
Rock – Poorly Blasted	40 – 50 %

Sumber : Caterpillar performance handbook, 2017

1. Faktor Pengisian (*Fill Factor*) Alat Muat

Untuk menghitung faktor pengisian (*fill factor*) alat gali muat maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$FF_m = \frac{V_n}{V_t} \times 100\% \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan :

FF_m = Faktor pengisian (*fill factor*) alat gali-muat (%)

V_n = Volume *bucket* nyata (LCM)

V_t = Volume *bucket* teoritis (LCM)

2. Faktor Pengisian (*Fill Factor*) Alat Angkut

Untuk faktor pengisian (*fill factor*) alat angkut (*dump truck*) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$FF_a = \frac{H_{an}}{H_{at}} \times 100\% \dots\dots\dots (19)$$

$$FFa = \frac{n_p \times FFm \times Hm}{Hat} \times 100\% \dots\dots\dots (20)$$

Keterangan :

FFa = Faktor pengisian (*Fill Factor*) alat angkut (%)

n_p = Jumlah pengisian dari alat gali-muat

FFm = Faktor pengisian (*Fill Factor*) alat gali-muat (%)

Hm_t = Kapasitas alat gali-muat (LCM)

Ha_t = Kapasitas alat angkut (LCM)

3.4.10 Ritase Alat Angkut

Untuk mengetahui banyaknya ritase pada alat angkut perjam dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Ritase} = \frac{E_a \times 60}{C_a} \dots\dots\dots (21)$$

Keterangan :

E_a = Effisiensi kerja alat-angkut, (%)

C_a = Waktu Edar (*cycle time*) alat angkut, (menit)

3.5 Metode Perhitungan Produktivitas Alat Mekanis

Perhitungan produktivitas alat mekanis dapat digunakan untuk menilai kinerja dari alat mekanis yang digunakan dalam suatu kegiatan pemindahan tanah mekanis. Semakin baik tingkat penggunaan alat maka semakin besar produktivitas yang dihasilkan alat tersebut. Perhitungan produktivitas alat-alat mekanis dapat dihitung dengan beberapa cara yaitu tergantung dari tingkat ketelitian yang dikehendaki. berikut ini adalah beberapa cara untuk menghitung produktivitas alat :

1. Perhitungan Langsung (*direct computation*)

Yaitu suatu cara perhitungan dengan memperhatikan tiap-tiap faktor yang mempengaruhi produksi untuk menentukan volume asli atau tonase yang dapat

dihasilkan oleh masing-masing alat yang dipergunakan. Cara ini ternyata yang paling teliti dari yang lain-lainnya karena semua kondisi yang mungkin akan dihadapi sudah diperhitungkan berdasarkan data lapangan yang tersedia.

2. *Tabular Method*

Adalah suatu cara perhitungan dengan mempergunakan keterangan-keterangan dan data yang berbentuk tabel yang khas untuk masing-masing alat dan diambil dari pengalaman-pengalaman sebelumnya yang memiliki sifat pekerjaan yang hampir serupa. Tetapi terkadang juga dilengkapi hasil percobaan yang dilakukan oleh pabrik pembuat alat-alat tersebut. Pada cara ini semua pekerjaan sifatnya disama-ratakan, sehingga variabel yang selalu dimiliki oleh setiap proyek yang jarang-jarang dapat disamakan dengan keadaan di tempat lain dianggap kira-kira serupa. Sebenarnya metode ini memiliki tingkat ketelitian yang lebih rendah dari perhitungan langsung, namun akan sangat efektif jika digunakan untuk memperkirakan produksi alat mekanis, yang alatnya tidak tersedia di lapangan.

3. *Slide Rule Method*

Adalah cara perhitungan dengan memakai *manufacture earth moving calculator*, yang dikeluarkan oleh pabrik alat yang digunakan untuk melakukan pekerjaan pemindahan tanah mekanis, dalam metode ini perhitungan yang dilakukan hampir sama dengan prinsip-prinsip perhitungan yang dipergunakan pada perhitungan langsung, perbedaannya adalah dalam *manufacture earth moving calculator* sudah terdapat data yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan produksi alat tersebut. Tingkat ketelitian metode ini lebih tinggi dibandingkan dengan metode tabular.

4. Perhitungan Perkiraan (*Guestimating*)

Metode perhitungan ini kurang lebih sama dengan cara pertama dan ketiga, namun bagian-bagian yang tidak dianggap begitu penting diabaikan atau

disederhanakan, sehingga perhitungannya jadi lebih mudah dan singkat. Namun metode ini hanya dapat dilakukan seorang ahli yang telah berpengalaman dalam bidang pemindahan tanah mekanis, jadi untuk penelitian cara ini tidak dianjurkan.

Untuk melakukan perhitungan produktivitas alat gali-muat, dan angkut, sebelumnya harus diketahui terlebih dahulu faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas alat digunakan di lapangan, sehingga setelah semua parameter diketahui maka dapat dihitung produktivitas alat dengan persamaan-persamaan berikut ini :

3.5.1 Perhitungan Produktivitas Alat Muat

Secara teori untuk menghitung produksi alat muat, harus dihitung terlebih dahulu produktivitas alat gali-muat, yang dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$P_{1m} = \frac{(E_m \times 3600) \times H_m \times FF_m \times SF \times \rho_i}{C_m} \dots\dots\dots (22)$$

Keterangan :

P_{1m} = Produktivitas alat gali-muat, (ton/jam/alat)

H_m = Kapasitas alat gali-muat, (LCM)

FF_m = *Fill Factor* alat gali muat, (%)

SF = *Swell Factor* (%)

E_m = Efisiensi kerja alat gali-muat, (%)

ρ_i = *Density insitu*, (ton/BCM)

C_m = Waktu pemuatan (*Loading time*), (detik)

Sedangkan untuk menghitung produksi alat gali-muat adalah :

$$P_m = n_m \times P_{1m} \dots\dots\dots (23)$$

Keterangan :

P_m = Produksi alat gali-muat, (ton/jam)

n_m = Jumlah alat gali-muat

P_{1m} = Produktivitas alat gali-muat, (ton/jam/alat)

3.5.2 Perhitungan Produktivitas Alat Angkut

Secara teori untuk menghitung produksi alat angkut, harus dihitung terlebih dahulu produktivitas alat angkut, yang dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$P_{1a} = \frac{(60 \times E_a) \times (n_p \times H_m \times FF_m) \times SF \times \rho_i}{C_a} \dots\dots\dots (24)$$

Keterangan :

P_{1a} = Produktivitas alat angkut, (ton/jam/alat)

H_m = Kapasitas alat gali-muat, (LCM)

FF_m = Faktor pengisian (*Fill Factor*) alat muat, (%)

SF = *Swell Factor* (%)

E_a = Efisiensi kerja alat-angkut, (%)

ρ_i = *Density insitu*, (ton/BCM)

C_a = Waktu Edar (*cycle time*) alat angkut, (menit)

n_p = Jumlah Pengisian

Sedangkan untuk menghitung produksi alat angkut adalah :

$$P_a = n_a \times P_{1a} \dots\dots\dots (25)$$

Keterangan :

P_a = Produksi alat angkut, (ton/jam)

n_a = Jumlah alat angkut

P_{1a} = Produktivitas alat angkut, (ton/jam/alat)

3.6 Faktor Keserasian Kerja Alat (*Match Factor*)

Untuk mendapatkan hubungan kerja yang serasi antara alat gali-muat dan alat angkut, maka secara perhitungan teoritis, produktivitas alat gali muat dan angkut

nilainya haruslah sama dengan atau mendekati, sehingga perbandingan antara alat angkut dan alat gali-muat mempunyai nilai satu atau mendekati satu.

Adapun cara untuk menilai keserasian kerja alat muat dan alat angkut digunakan dengan menggunakan perhitungan *Match Factor* yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$MF = \frac{n_a \times L_{tm}}{n_m \times C_a} \dots\dots\dots (26)$$

Keterangan :

MF = *Match Factor*.

n_a = Jumlah alat angkut, (unit).

n_m = Jumlah alat muat, (unit).

L_{tm} = *Loading time*, (menit).

C_a = Waktu edar (*cycle time*) alat angkut, (menit).

Adapun cara menilai faktor keserasian kerja alat adalah sebagai :

1. $MF < 1$, artinya terdapat waktu tunggu bagi alat gali-muat untuk menunggu kedatangan alat angkut.
2. $MF = 1$, artinya tidak ada waktu tunggu bagi alat gali-muat maupun waktu antrian bagi alat angkut.
3. $MF > 1$, artinya terdapat waktu tunggu atau waktu antrian bagi alat angkut.

3.7 Jumlah Kebutuhan Alat

Pada kegiatan penambangan keberadaan akan alat mekanis sangat dibutuhkan guna menunjang keberhasilan penambangan itu sendiri disamping meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Walaupun demikian dalam penggunaan perlu dilakukan perhitungan secara tepat, agar kemampuan alat dapat digunakan secara optimal serta mempunyai tingkat efisiensi yang tinggi. Kebutuhan alat dapat

dihitung dengan cara membagi target produksi per jam dengan produktivitas alat per jam. Target produksi per jam didapatkan dengan cara membagi target produksi per hari dengan jam kerja per hari.

3.8 Metode Statistika

Untuk Menghitung dan mengolah data efisiensi kerja, waktu edar dan faktor pengembangan diperlukan metode statistik. Teori "**Struges**" adalah cara mencari nilai rata-rata dari data pengamatan dengan membuat tabel distribusi frekuensi untuk interval data pengamatan yang diperoleh. Jumlah kelas, lebar kelas interval dan rata-rata waktu edar alat gali-muat dan angkut dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

Jumlah kelas interval (K)

$$K = 1 + 3,3 \log n \dots\dots\dots (27)$$

Dimana :

K = Jumlah kelas interval
n = Jumlah data pengamatan

Lebar kelas interval (i)

$$i = \frac{(X_{max} - X_{min})}{K} \dots\dots\dots (28)$$

Dimana :

X_{max} = Nilai data tertinggi
X_{min} = Nilai data terendah

Harga rata-rata dapat dihitung dengan rumus :

$$X = \frac{\sum (Xi \cdot Fi)}{\sum Fi} \dots\dots\dots (29)$$