

BAB III

LANDASAN TEORI

Kegiatan penambangan secara umum meliputi aktivitas dasar yaitu pembongkaran atau pembeaian (peledakan), pemuatan material, dan pengangkutan (*transportation*). Kegiatan penggalian pada penambangan merupakan suatu kegiatan yang bertujuan untuk membongkar material yang terdapat di dalam untuk kemudian dipindahkan ke tempat penimbunan dengan menggunakan alat-alat mekanis. Sehingga cukup banyak faktor yang harus di analisis agar proses penambangan berjalan dengan aman dan lancar serta mencapai target produksi yang telah ditetapkan.

3.1 **Bucket Wheel Excavator (BWE)**

Bucket Wheel Excavator (BWE) merupakan alat gali yang menggunakan rangkaian *bucket* yang berputar pada satu roda putar, di mana *bucket* penggaruk tersebut berjumlah 14 buah dengan kapasitas masing-masing 0,8 m³. Alat ini terdiri dari tiga bagian utama yaitu *substructure* (bagian bawah), *intermediate structure* (bagian tengah) dan *sleivable superstructure* (bagian atas). *bucket wheel excavator* juga dilengkapi dua buah lengan mekanis/ban pengangkut material dengan lebar ban 1.400 mm dan kecepatannya 4,5 m/detik. *Bucket wheel excavator* digerakkan dengan menggunakan tenaga listrik. Kemampuan gali *bucket wheel excavator* adalah 1.300 BCM/jam untuk kapasitas garansi.

Pada penggalian menggunakan *bucket wheel excavator* faktor yang mempengaruhi kinerja alat adalah lebih kepada efisiensi kerja di mana banyaknya kehilangan waktu yang diakibatkan oleh kelalaian operator serta faktor alam.

3.1.1 Analisis Tempat Kerja

Medan kerja sangat berpengaruh, karena apabila medan kerja buruk akan mengakibatkan peralatan mekanis sulit untuk dapat beroperasi secara optimal. Tempat kerja tidak hanya harus memenuhi syarat bagi pencapaian sasaran produksi tetapi juga harus aman bagi penempatan alat beserta mobilitas pekerja yang berada disekitarnya.

Tempat kerja yang luas akan mempermudah alat berat untuk bekerja alat karena terdapat cukup tempat untuk berbagai kegiatan, seperti keleluasaan tempat untuk berputar, mengambil posisi sebelum melakukan kegiatan penggalian maupun untuk tempat pengangkutan yang dilanjutkan sampai ketempat penimbunan.



Gambar 3.1
Bucket Wheel Excavator

3.1.2 Cara Penggalian *Bucket Wheel Excavator*

1. *Terace Cut*

Adalah cara penggalian dengan ketebalan galian ditentukan melalui gerak maju *bucket wheel excavator*. Di mana pada awal galian gigi *bucket*

terhadap material adalah tipis dan pada akhir galian gigi *bucket* terhadap material adalah tebal. Penggalan ini juga membuat tangga-tangga agar kesetabilan lereng dapat terjaga serta menghasilkan galian yang optimal.

2. ***Dropping Cut***

Adalah cara penggalan *bucket wheel excavator* di mana ketebalan galian ditentukan melalui gerak turun *bucket wheel*. Di mana pada awal penggalan gigi *bucket* terhadap material adalah tebal dan diakhir galian gigi *bucket* terhadap material adalah tipis. Cara penggalan ini digunakan untuk menggali tanah yang lunak dan lengket agar material hasil galian tersebut tidak mengotori landasan kerja *bucket wheel excavator* bagian depan.

3. ***Combination Cut***

Adalah suatu cara penggalan gabungan antara *terrace cut* dan bagian bawahnya menggunakan *dropping cut*. Cara ini jarang digunakan, karena saat menggali *dropping cut*, *bucket* akan mengalami tahanan yang besar pada saat memotong *slice* yang cukup tebal sehingga beresiko patahnya gigi *bucket* atau terjadinya vibrasi yang cukup kuat pada bodi *bucket wheel excavator*.

3.1.3 ***Spesific Production Faktor (SPF)***

Spesific Production Faktor (SPF) merupakan parameter kapasitas/kinerja pemindahan tanah dan batubara dari *bucket wheel excavator*. SPF diperoleh dari perbandingan antara volume tanah dan batubara hasil penggalan dengan waktu penggaliannya. Kapasitas efektif yang digaransikan oleh *Rheinbraun Consulting* sebesar 1.300 BCM/jam. Kapasitas efektif ini ditentukan dengan dua cara, yaitu:

Cara I

$$P_{\text{eff}} = 60 \times H \times n \times FF \times SF \times Ek \times Fk \dots\dots\dots (1)$$

P_{eff} = Kapasitas produksi efektif (BCM/jam)

H = Isi nominal *bucket* (LCM)

n = Jumlah curahan *bucket* (per menit)

FF = Faktor pengisian *bucket* (%)

SF = Faktor muai (*swelling faktor*) (%)

Ek = Efisiensi kerja (%)

Fk = Faktor koreksi

Cara II

$$Q_{\text{eff}} = Q_g \times F_m \times F_{\text{am}} \dots\dots\dots (2)$$

Q_{eff} = kapasitas produksi efektif (BCM/jam)

Q_g = kapasitas produksi garansi (BCM/jam)

F_m = faktor kekuatan material

F_{am} = faktor *selective mining*

Untuk menghitung kapasitas nyata *bucket wheel excavator*, dapat menggunakan persamaan:

$$Q_{\text{ny}} = \frac{Vb}{Ef} \dots\dots\dots (3)$$

Q_{ny} = kapasitas sebenarnya (BCM/jam atau BCM/menit)

Vb = volume galian hasil ukur lapangan (BCM)

Ef = waktu jalan efektif (jam atau menit)

3.1.4 Perhitungan Volume Galian

Setiap blok galian harus diketahui jumlah volumenya. Hal ini untuk mengetahui berapa lama *bucket wheel excavator/spreader* menggali/menimbun

pada posisi tersebut. Syarat-syarat untuk menghitung volume galian *bucket wheel excavator*:

1. Situasi aktual sebelum digali
2. Gambar rencana penggalian
3. Peralatan yaitu: mistar, kalkulator dan plainmeter

Cara perhitungan volume galian dengan alat plainmeter adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{la+lb}{2} \times tr \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

tr = Jumlah rata-rata titik ketinggian (meter)

la = Lebar blok gali bagian atas (meter)

lb = Lebar blok gali bagian bawah (meter)

3.5.1 Daya Dukung Material

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah persatuan luas untuk menahan beban di atasnya (kg/cm^2). Bila berat beban melebihi daya dukung tanah maka beban tersebut akan amblas ataupun terjadinya longsor akibat dari kelebihan pembebanan pada bidang tumpu. Untuk alat *bucket wheel excavator* daya dukung tanah yang masih mampu menahan beratnya adalah sebesar 100 kpa.

Usaha untuk mencegah amblasnya alat tersebut dilakukan dengan cara:

1. Memperlebar bidang tumpu dengan jalan meletakkan balok-balok kayu daerah yang amblas, susunan balok kayu harus lebih lebar dari pada bidang tumpu benda
2. Menggali daerah yang daya dukungnya rendah minimal dua meter lalu diisi dengan tanah kering / keras dan dipadatkan.

Selain tersebut di atas, hal lain yang perlu juga diperhatikan saat pengawasan operasional *bucket wheel excavator* adalah:

1. Daerah bidang lemah (sesar)
2. Kekerasan material gali
3. Batas kualitas batubara
4. Posisi blok galian awal dan berikutnya
5. Luas blok galian
6. Batas *final slope*

Luas blok galian *bucket wheel excavator* ditentukan berdasarkan ukuran peralatan, kapasitas kerja alat, sudut lereng galian dan ketinggian jenjang galian. Untuk mengukur ketinggian dan memantau kemiringan planum biasa dipakai alat *Tafel*. Berikut ini adalah cara penggunaan *tafel* untuk mengukur kemiringan *planum*.

Pertama-tama, hitung jarak horizontal antar *tafel* terlebih dahulu. Kemudian hitung beda ketinggian (Δh) *Planum*. Untuk memperoleh rasio kemiringan *planum* maka jarak horizontal antar *tafel* dibagi dengan Δh *planum* tersebut.

3.2 **Belt Wagon (BW)**

Belt Wagon merupakan alat yang berfungsi sebagai alat transfer material dari *bucket wheel excavator* ke *hopper car*, *belt wagon* digunakan untuk memperpanjang jangkauan penggalian *bucket wheel excavator* sejauh ± 90 meter dari jalur *conveyor* penggalian (CE), sehingga mengurangi frekuensi *Shifting* (pergeseran) jalur *belt conveyor* di jalur penggalian. Seperti halnya *bucket wheel excavator*, *belt wagon* juga memiliki dua lengan mekanis/ban dengan lebar 1.400 mm.

Fungsi ban 1 *belt wagon* untuk mentransfer material galian dari *bucket wheel excavator* ke ban 2 *belt wagon*, sedangkan ban 2 *belt wagon* mentransfer material

galian ke *hopper car*. Dalam operasional *bucket wheel excavator* secara keseluruhan ban 1 *belt wagon* diberi nama ban 3, sedangkan ban 2 *belt wagon* diberi nama ban 4. Pergerakan *belt wagon* disesuaikan dengan pergerakan dari *bucket wheel excavator*. Sebagaimana *bucket wheel excavator*, pada *belt wagon* juga terdapat tiga bagian yaitu *substructure* (bagian bawah), *intermediate structure* (bagian tengah) dan *slewable superstructure* (bagian atas).



Gambar 3.2
Belt Wagon

3.3 *Hopper Car* (HC)

Hopper Car adalah alat yang berupa corong penerima yang digunakan untuk menyalurkan material dari *belt wagon* ke *conveyor excavating* (CE). *Hopper car* ini seperti gerbong yang berjalan diatas rel yang berjalan pada sisi kiri dan kanan sepanjang jalur *conveyor excavating*, dengan rantai berbentuk kerucut dan pada bagian bawah nya terdapat sederet *roll impact* yang berfungsi untuk menahan beban tumpahan material pada *belt* (Foto 3.3).

3.4 **Cable Rail Car (CRC)**

Cable Rail Car adalah suatu kendaraan yang mengangkut segulungan kabel listrik bertegangan 20 KV yang memasok daya untuk *bucket wheel excavator* dan *belt wagon*, alat ini juga berfungsi untuk menggerakkan *hopper car* menyesuaikan arah pergerakan dari ban 2 *belt wagon*. *cable rail car* bersama dengan *hopper car* dapat bergerak maju mundur di atas rel yang dipasang di sepanjang jalur *conveyor excavating*. Pergerakan *cable rail car* akan disesuaikan dengan gerakan *belt wagon*. Konstruksi *cable rail car* terdiri dari kabel, *rail supporting structure*, dan kabin operator. *Cable rail car* juga dilengkapi dengan *mechanical electric switch* yang berguna untuk menghindari terjadinya tegangan naik pada kabel (Foto 3.4).



Gambar 3.3
Hopper Car



Gambar 3.4
Cable Rail Car

3.5 Conveyor System

Conveyor System merupakan alat untuk mengangkut material dari *front* penggalian menuju ke tempat penimbunan tanah ataupun ketempat penumpukan batubara. *Belt conveyor* berupa sabuk karet yang berjalan di sepanjang jalur *conveyor*. Pergerakan *belt conveyor* ini diatur oleh sebuah *drive pulley* (*pulley* penggerak) dan dibantu dengan sejumlah *idler/rol* yang terpasang disepanjang *belt frem*. Jalur *belt conveyor* dapat dioperasikan secara *interlock* (terkoneksi) ataupun *not interlock* (tidak terkoneksi). *Interlock* berarti seluruh segmen jalur *belt conveyor* dijalankan secara *continue* sebagai satu kesatuan sistem. Sedangkan secara *not interlock* artinya jalur *conveyor* dioperasikan secara terpisah (tersendiri) per segmen. Berdasarkan fungsinya, jalur *belt conveyor* ini terbagi atas beberapa macam, berurut-turut dari *front* penggalian sampai ke *front* penimbunan

3.5.1 **Conveyor Excavating (CE)**

Conveyor Excavating merupakan jalur *conveyor* yang pertama kali mengangkut material hasil galian yang keluar dari *hopper car*. Posisi jalur *conveyor excavating* yang paling ujung bisa digeser menyesuaikan dengan kemajuan galian *bucket wheel excavator*. Lebar *belt conveyor excavating* adalah 1.200 mm.

3.5.2 **Conveyor Shunting (CS)**

Conveyor Shunting merupakan penggabung dari *conveyor excavating* ke *conveyor distribution point* (CDP). Ujung dari *conveyor shunting* dapat digeser baik secara manual ataupun otomatis sesuai dengan jenis material yang digali. Lebar *belt conveyor shunting* adalah 1.200 mm.

3.5.3 **Conveyor Distribution Point (CDP)**

Conveyor Distribution Point berfungsi untuk mengatur distribusi material dari *conveyor shunting* ke *conveyor coal* untuk batubara atau ke *conveyor dumping* untuk tanah. Pengaturan distribusi dilakukan oleh operator yang ada di *conveyor distribution point* secara otomatis dan dapat juga secara manual.

3.5.4 **Conveyor Dumping (CD)**

Conveyor Dumping berfungsi untuk meneruskan pengangkutan material tanah yang berasal dari *conveyor shunting* ke *spreader* di *disposal area*. *Conveyor dumping* dapat melayani 2 unit *bucket wheel excavator* sekaligus karena punya lebar *belt* 1.600 mm.

3.5.5 **Conveyor Coal (CC)**

Conveyor Coal berfungsi untuk meneruskan pengangkutan batubara yang berasal dari *conveyor shunting* ke *stacker reclaimer* (SR) di *stockpile area*.

Conveyor coal mampu melayani pengangkutan dari dua jalur penggalian *bucket wheel excavator* karena lebar *beltnya* 1.600 mm.

3.6 **Spreader**

Spreader merupakan alat penghampar tanah di daerah *disposal area* (penimbunan), Kapasitas *spreader* mampu melayani penghamparan material tanah yang berasal dari dua jalur penggalian *bucket wheel excavator*. Sama halnya dengan *bucket wheel excavator*, *spreader* juga memiliki dua ban atau lengan mekanis. Ban 1 diletakkan pada lengan topang *tripper car* (TC) dan berfungsi untuk menerima material dari *conveyor dumping*. Sedangkan ban dua berfungsi untuk menerima material dari ban satu dan selanjutnya menghampar material tersebut di area penimbunan.

Metode penimbunan *spreader*

1. *Deep Dump*

Deep Dump adalah suatu metode penimbunan di mana lantai untuk tempat penimbunan lebih rendah dari lantai kerja *spreader*. Pada penimbunan *deep dump* ini *spreader* bergerak maju setelah lantai yang ditimbun sebelumnya sudah sama elevasi dengan lantai kerja *Spreader*.

2. *High Dump*

High Dump adalah suatu metode penimbunan di mana lantai untuk tempat penimbunan sejajar dengan lantai kerja *spreader*. Pada penimbunan *high dump* ini *spreader* bergerak mundur setelah lantai yang ditimbun sebelumnya sudah lebih tinggi dari lantai kerja *spreader*.

Demi keamanan, ketinggian timbunan *high dump* berkisar antara 6 - 8 m, sedangkan kedalaman timbunan *deep dump* berkisar 12 - 15 m. Jarak maksimum penimbunan *deep dump* adalah 105 meter dari as *conveyor dumping* sedangkan

untuk *high dump* 100 meter, sama halnya dengan *bucket wheel excavator*, kemiringan *planum* (baik paralel maupun tegak lurus terhadap *track crawler*) yang diperbolehkan untuk *spreader* operasional adalah 1 : 20 sedangkan untuk transport boleh 1:10. Pengukurannya juga dilakukan dengan alat *tafel*.



Gambar 3.5
Spreader

Pada metode penimbunan *deep dump*, cara alternatif yang dapat ditempuh untuk mengatasi longsor yakni dengan membuat *support rib* (tahanan penunjang) dari material kering. *Support rib* ini berfungsi untuk menahan kaki lereng yang longsor, bila daerah tersebut letaknya di dalam, maka cara tersebut dapat dikombinasikan dengan membuat *pre dump* di mana kaki lereng dibuat mendatar sementara *support rib* didorong ke arah lemah.

3.7 Faktor Teknis Material

3.7.1 Kapasitas *Bucket* (*Bucket Capacity*)

Untuk mengetahui kapasitas *bucket* dari alat berat *bucket wheel excavator*

digunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_{Bucket} = \text{Panjang (meter)} \times \text{Lebar (meter)} \times \text{Tinggi (meter)} \dots\dots\dots (5)$$

3.7.2 Faktor Isian Mangkuk (*Fill Factor*)

Faktor Isian mangkuk merupakan perbandingan antara kapasitas nyata material yang masuk ke dalam mangkuk dengan kapasitas teoritis dari alat muat tersebut yang dinyatakan dalam persen.

$$FF = \frac{V_n}{V_t} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

FF = Faktor isian (*fill factor*) (%)

V_n = Volume nyata (m^3)

V_t = Volume teoritis (m^3)

3.7.3 Pengukuran Kecepatan Roda *Bucket*

Pengukuran kecepatan roda *bucket* dilakukan untuk mengetahui jumlah curahan atau tumpahan *bucket* per menit, maka digunakan persamaan berikut:

$$\text{Rata-rata CT} = \frac{\sum CT}{n (CT)} \dots\dots\dots (7)$$

$$n \text{ curahan} = \frac{60}{\text{Rata-rata CT}} \times 14 \text{ bucket} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan: $\sum CT$ = jumlah kecepatan (detik)

$n (CT)$ = jumlah data *cycle time* (CT)

n = jumlah curahan (tumpahan/menit)

60 = konversi waktu

3.7.4 Faktor Pengembangan (*Swell Factor*)

Apabila material digali dari tempat aslinya, maka akan terjadi

pengembangan volume (*swell*). Untuk menghitung *swell factor* dan *percent swell* berdasarkan volume dapat menggunakan persamaan pada berat yang sama:

$$\text{Swell Factor (SF)} = \frac{\text{Volume Insitu}}{\text{Volume Loose}} \times 100\% \dots \dots \dots (9)$$

$$\% \text{ Swell (S)} = \frac{\text{Loose Volume} - \text{Bank Volume}}{\text{Bank Volume}} \dots \dots \dots (10)$$

Jika pengukuran tidak dapat dilakukan dengan menggunakan volume maka dapat diganti dengan menggunakan data densitas atau masa jenis dari batuan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Swell Factor (SF)} = \frac{\rho(\text{loose})}{\rho(\text{insitu})} \times 100\% \dots \dots \dots (11)$$

Sebelum menentukan faktor pengembangan berdasarkan densitas, terlebih dahulu hitung nilai densitas batuan asli atau *insitu* dan kemudian hitung densitas *loose* dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\text{Masa jenis material, } \rho = \frac{M}{V} \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{Masa jenis material kering, } \rho_l = \frac{\rho}{1 + w} \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan: ρ = Masa jenis material atau densitas (gram/cm³)

ρ_l = Masa jenis material kering (*loose*) (gram/cm³)

M = Masa material (gram)

V = Volume material (cm³)

w = Kadar air (%)

3.8 Faktor Koreksi Ketinggian

Dalam menentukan faktor koreksi ketinggian dari *bucket wheel excavator* digunakan perhitungan dengan metode tabulasi seperti pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1
Pengaruh Kedalaman Penggalian dan Sudut Putar

Kedalaman Penggalian Optimum (%)	Sudut Putar (derajat)						
	45°	60°	75°	90°	120°	150°	180°
40	0,93	0,89	0,85	0,8	0,72	0,65	0,59
60	1,1	1,03	0,96	0,91	0,81	0,73	0,66
80	1,22	1,12	1,04	0,98	0,86	0,77	0,96
100	1,26	1,16	1,07	1	0,88	0,79	0,71
120	1,2	1,11	1,03	0,97	0,86	0,77	0,7
140	1,12	1,04	0,97	0,91	0,81	0,73	0,66
160	1,03	0,96	0,9	0,85	0,75	0,67	0,62

Sumber: *Pemindahan Tanah Mekanis Hal.210 (Partanto, 1993)*

Langkah pertama dalam menentukan faktor koreksi ketinggian adalah menentukan nilai persen ketinggian dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\text{Persen ketinggian} = \frac{\text{Ketinggian Penggalian (m)}}{\text{Tinggi Maksimal Penggalian (m)}} \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

Bila persen kedalaman berada diantara nilai yang tertera pada Tabel 3.1 misalkan hasil persen ketinggian yang diperoleh adalah 42% maka digunakan perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Faktor koreksi} = 0,8 + \left(\frac{42-40}{60-40} \right) \times (0,91 - 0,80) \dots\dots\dots (15)$$

3.9 Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja adalah penilaian terhadap suatu pelaksanaan pekerjaan, merupakan perbandingan antara waktu kerja produktif dengan waktu kerja yang tersedia, dinyatakan dalam persen (%). Efisiensi kerja ini akan mempengaruhi kemampuan produksi dari suatu alat. Persamaan sebagai berikut:

$$E_k = \frac{W_e}{W_p} \times 100\% \dots\dots\dots (16)$$

Di mana,

$$W_e = W_p - (W_{td} + W_{hd}) \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan:

Ek = Efisiensi kerja (%)

We = Waktu kerja efektif, (menit)

Wp = Waktu produktif, (menit)

Wtd = Waktu hambatan tidak dapat dihindari, (menit)

Whd = Waktu hambatan dapat dihindari, (menit)

3.10 Upaya Peningkatan Target Produksi

Setelah diketahuinya target yang akan dicapai selanjutnya adalah melakukan perhitungan produksi alat per satuan waktu sehingga dari data tersebut maka akan dapat dioptimalkan produksi dari alat. Faktor yang mempengaruhi dalam produksi alat gali *bucket wheel excavator* adalah lebih kepada efisiensi kerja alat dan operator, untuk meningkatkan target produksi dengan mengurangi hambatan-hambatan dalam kegiatan penggalian dengan menggunakan *bucket wheel excavator* ini.

Upaya yang dilakukan dalam mencapai target produksi adalah mengoptimalkan efisiensi kerja operator dengan cara memperkecil jumlah hambatan-hambatan yang terjadi pada saat penggalian sehingga kinerja alat dapat meningkat serta produksi yang ditargetkan dapat ditingkatkan.