

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Studi Terdahulu

Penelitian ini penulis memaparkan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti, yaitu tentang Kajian Teknis dan Biaya Kegiatan *Rehandling* Batubara PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan. Adapun diantaranya sebagai berikut:

1. Jhon (2015) melakukan penelitian mengenai Model Transportasi Pengangkutan Batubara ke Lokasi *dumping* dengan Metode Sudut Barat Laut dan Metode Biaya Terendah pada PT Bukit Asam (Persero) Tbk. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan model transportasi pengangkutan batubara yang paling efisien dengan biaya yang paling rendah. Pada penelitian ini menggunakan metode sudut barat laut dan metode biaya terendah, pengambilan dilakukan dengan cara mengambil 300 data *cycle time* alat angkut pada lokasi *Pit* Timur dan *Pit* Barat menuju *dump hopper* serta biaya sewa alat angkut. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan penggunaan metode sudut barat laut didapatkan nilai *cycle time* 25,73 dengan tarif angkutan Rp 9.503,31/ton dengan rute *Pit* 3 Timur dan *Pit* 3 Barat menuju *dump hopper* dan alat angkut yang dibutuhkan sebanyak 20 unit. Menggunakan metode biaya terendah, dihasilkan nilai *cycle time* 22,54 menit dengan tarif angkutan Rp 8.805,63/ton dengan rute dari *Pit* 3 Timur ke *dump hopper* dan jumlah alat angkut yang dibutuhkan sebanyak 17 unit. Model transportasi yang lebih efektif dan efisien adalah model transportasi dengan menggunakan metode biaya terendah (*least-Cost Rule*).
2. Sazaly (2012) melakukan penelitian mengenai Produktivitas Pengangkutan Batubara Dengan Alat Berat Pada Tambang PT Oka Lintas Muara di Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perhitungan produksi alat berat yang digunakan untuk pelaksanaan pengangkutan batubara di lokasi tambang batubara PT Oka Lintas Muara. Pada penelitian ini menggunakan metode pengamatan lapangan dan metode analisis, pengambilan data dilakukan dengan cara mengambil 100 data *cycle time* alat

produksi, waktu operasi alat produksi sebesar 900 jam dengan lokasi pengambilan data pada *Pit 1*, kemudian dianalisa untuk mendapatkan perhitungan produktivitas alat produksi batubara, perhitungan volume galian material, dan waktu kerja alat berat. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa perhitungan produktivitas alat produksi meliputi excavator PC 200 sebesar 249 ton/jam, dump truck Dyna 130HT sebesar 40 ton/jam, volume galian material adalah 25.962,55 m³. Alat produksi beroperasi dalam pekerjaan pengangkutan material batubara ke *Stockpile* selama 45 hari.

3. Shiddiqi (2018) melakukan penelitian mengenai Evaluasi Kinerja dan Biaya Pengangkutan Batubara Menggunakan Dump Truck dan Belt Conveyor pada Penambangan Muara Tiga Besar Utara PT Bukit Asam Tbk. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efisiensi kerja alat pengangkutan batubara untuk menekan jumlah biaya produksi batubara. Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, pengambilan data dilakukan dengan cara mengambil 300 data *cycle time* alat angkut pada *Front* penambangan menuju *Temporary Stock* dan biaya sewa alat angkut. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan produktivitas aktual dump truck Hino 500 FM 260Ti pada *fleet 1* adalah 36,77 ton/jam dan pada *fleet 2* adalah 52,64 ton/jam. Produktivitas aktual untuk belt conveyor shunting adalah 1640,21 ton/jam. Biaya aktual pengangkutan batubara dari *Front* penambangan ke *Temporary Stockpile* menggunakan dump truck adalah Rp. 17.882/ton, sedangkan biaya pengangkutan batubara menggunakan dump truck dan belt conveyor adalah Rp. 23.631/ton. Produktivitas ideal dump truck Hino 500 FM 260 Ti pada *fleet 1* adalah 50,72 ton/jam dan pada *fleet 2* adalah 72,60 ton/jam. Produktivitas ideal belt conveyor adalah 1879,41 ton/jam. Biaya ideal pengangkutan batubara dari *Front* penambangan ke *Temporary Stockpile* menggunakan dump truck adalah Rp. 14.576/ton, sedangkan biaya pengangkutan batubara menggunakan dump truck dan belt conveyor adalah Rp. 17.705/ton. Sistem pengangkutan batubara dari *Front* penambangan ke *Temporary Stockpile* yang paling ekonomis adalah dengan menggunakan dump truck daripada menggunakan belt conveyor.

2.2 Geomorfologi

Geomorfologi suatu daerah sangat terkait dengan aspek fisiografinya. Pengertian fisiografi sendiri yaitu membahas luas wilayah yang terbagi dalam unit struktur tertentu, mempunyai bentuk relief alam sangat dinamis serta persamaan sejarah perkembangan unit morfologi yang disebabkan oleh pengaruh iklim.

Pembagian fisiografi Sumatera bagian selatan menurut Asikin (1989), dapat menjadi empat bagian, yaitu:

1. Cekungan Sumatera Selatan.
2. Bukit Barisan dan Tinggian Lampung.
3. Cekungan Bengkulu, meliputi lepas pantai antar Daratan Sumatera dan rangkaian pulau-pulau di sebelah Barat Pulau Sumatera.
4. Rangkaian kepulauan di sebelah Barat Sumatera, yang membentuk suatu busur tak bergunung api di sebelah Barat Pulau Sumatera.

Daerah penelitian secara regional berada di Cekungan Sumatera Selatan. Cekungan Sumatera Selatan membentang dari Tinggian Asahan di Barat Laut sampai ke Tinggian Lampung di sebelah Tenggara. Cekungan ini merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Timur dan dipisahkan dari Cekungan Sumatera Tengah oleh Pegunungan Duabelas dan Pegunungan Tigapuluh di Utaranya, serta dibatasi oleh Pegunungan Barisan di sebelah Baratdaya dan Daratan Pra-Tersier di sebelah Timurlaut, dimana Cekungan Sumatera Selatan terbagi dalam empat sub cekungan, yaitu Sub Cekungan Palembang, Sub Cekungan Lematang, Sub Cekungan Jambi dan Sub Cekungan Merang (Pulunggono, 1983).

2.3 Geologi Regional

Menurut Coster (1975) lapisan batubara di daerah IUP PT Bukit Asam Tbk, Unit Penambangan Tanjung Enim menempati tepi Barat bagian dari Cekungan Sumatera Selatan. Cekungan ini merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Tengah dan Selatan. Lapisan batubara pada daerah ini tersingkap dalam sepuluh lapisan batubara yang terdiri dari lapisan tua sampai muda, yakni Lapisan Petai, Lapisan Suban, Lapisan Mangus dan tujuh Lapisan Gantung (*hanging seam*).

Geologi regional daerah Tanjung Enim yang merupakan lokasi PT Bukit Asam Tbk termasuk kedalam Sub Cekungan Palembang yang merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Selatan dan terbentuk pada Zaman Tersier. Sub Cekungan Sumatera Selatan yang diendapkan selama Zaman Kenozoikum terdapat urutan litologi yang terdiri dalam 2 (dua) kelompok, yaitu Kelompok Telisa dan Kelompok Palembang.

Endapan Tersier pada Cekungan Sumatera Selatan dari yang tua sampai dengan yang muda dapat dipisahkan menjadi beberapa Formasi, yaitu antara lain (Spruyt, 1956):

a. Formasi Muara Enim

Merupakan indikasi yang mengandung batubara (*coal measure*) dicirikan dengan adanya batulempung, batulanau dan batupasir yang dominan. Formasi Muara Enim tertinggi oleh endapan sungai tua secara tidak selaras.

b. Formasi Kasai

Formasi ini dicirikan oleh tufa yang berwarna putih, seperti yang tersingkap di daerah Suban maupun Klawas, terdiri dari *interbed tuff*, batupasir tufaan, batulanau tufaan, batulempung tufaan dan batubara tipis. Lingkungan pengendapannya dari darat sampai transisi dengan ketebalan 500 – 1000 m.

c. Formasi Talang Akar

Formasi ini terdiri dari anggota *gritsand* (grm) dan anggota transisi lokasi tipenya di Sumur Limau kurang lebih barat daya Prabumulih dengan nama asal “Talang Akar *Stage*”. Anggota *gritsand* dari batupasir kasar hingga sangat kasar dengan interkalasi serpih dan lanau yang diendapkan dilingkungan fluviatil hingga delta. Anggota ini diendapkan tidak selaras diatas Formasi Lahat selama Oligosen dalam ketebalan 550 m.

d. Formasi Baturaja

Formasi ini terdiri dari batugamping terumbu dan batugamping detritus, ke arah cekungan berubah fasies menjadi serpih, napal dengan sisipan tipis batugamping dari Formasi Gumai. Formasi terletak tidak selaras di atas batuan Pra-Tersier. Ketebalan Formasi ini pada daerah paparan adalah 60–75 m, tetapi apabila terletak diatas batuan dasar, variasinya akan lebih besar antara 60–120 m, bahkan

pada singkapan Bukit Gerbah mencapai 520 m. Formasi ini berumur Miosen Awal.

e. Formasi Gumai

Puncak Transgesi pada Cekungan Sumatera Selatan dicapai pada waktu pengendapan Formasi Gumai, sehingga formasi ini mempunyai penyebaran yang sangat luas pada cekungan Sumatera Selatan. Formasi ini diendapkan selaras diatas Formasi Baturaja dan anggota transisi foraminifera dengan sisipan batupasir gampingan pada bagian bawah dan sisipan batugamping pada bagian tengah dan atasnya. Ketebalan formasi ini mencapai 500 m.

f. Formasi Air Benakat

Litologi satuan ini adalah serpih gampingan yang kaya akan foraminifera di bagian bawahnya, makin ke atas dijumpai batupasir yang mengandung gloukonit. Pada puncak satuan ini pasirnya meningkat, kadang dijumpai sisipan tipis batubara atau sisa-sisa tumbuhan. Formasi ini diendapkan pada lingkungan Neritik yang berangsur-angsur menjadi laut dangkal dan prodelta. Diendapkan selaras diatas Formasi Gumai pada Miosen Tengah hingga Miosen Akhir dengan ketebalan kurang dari 60 m.

g. Formasi Lahat

Formasi Lahat diendapkan tidak selaras diatas batuan Pra-Tersier pada lingkungan darat. Formasi ini berumur Oligosen Bawah, tersusun oleh *tuff* breksi, lempung tufaan, breksi dan konglomerat. Pada tempat yang lebih dalam, fasiesnya berubah menjadi serpih, serpih tuffan, batulanau.

2.4 Stratigrafi

Menurut Gafoer (1986), Formasi Muara Enim dari tiga lapisan batubara yang mana tiap-tiap lapisan batubara terdapat lapisan sisipan yaitu lapisan batuan sedimen berupa batulempung, batulanau sampai batupasir. Formasi Muara Enim termasuk daerah Muara Tiga Besar Utara (MTBU) dapat dilihat pada penampang litologi. Adapun urutan stratigrafi sebagai berikut:

1. Lapisan Tanah Penutup (*Overburden*)

Tanah Penutup terdiri dari endapan sungai tua (pasir dan kerikil), batulempung dan lapisan lanau yang *silisified*, juga terdapat *iron stone nodules* serta lapisan gantung (*Hanging Seam*). Dapat dijelaskan bahwa lapisan ini merupakan lapisan yang terdiri dari tanah liat, bentonite, dan campuran lumpur serta batupasir halus, pada bagian ini dapat dijumpai nodul-nodul *clay iron stone* pada kedalaman 8 m dengan ketebalan $\pm 1,35$ m. Lapisan ini dicirikan dengan adanya batulempung, batupasir, batulempung lanauan (*Silt Clay Stone*) dan Bentonit. Pada lapisan ini ditemukan juga lapisan batubara gantung (*Hanging Coal*) pada kedalaman 8 m dengan ketebalan $\pm 1,35$ m.

2. Lapisan Batubara A₁ (Mangus Atas)

Lapisan ini dicirikan dengan adanya lapisan pengotor yang berupa lempung berwarna keabu-abuan. Ketebalan batubara pada lapisan ini bervariasi antara 6,8 m – 10 m dengan ketebalan rata-rata 8,6 m.

3. Lapisan *Interburden* A₁ – A₂

Lapisan ini dicirikan dengan adanya batupasir tufaan berwarna putih keabu-abuan sebagian dari hasil aktivitas vulkanik. Lapisan ini mempunyai ketebalan rata-rata $\pm 2,9$ m.

4. Lapisan Batubara A₂ (Mangus Bawah)

Lapisan batubara A₂ mempunyai variasi ketebalan antara 9,8 m – 14,75 m dengan ketebalan rata-rata 12,8 m, dimana daerah bagian Barat mempunyai ketebalan relatif lebih besar dibandingkan dengan daerah bagian Timur.

5. Lapisan *Interburden* A₂ – B₁

Lapisan ini dicirikan dengan batulanau, dengan ketebalan rata-rata 16 m dengan sisipan pasir halus. Disini ditemukan adanya lapisan batubara tipis dikenal dengan nama *Suban Marker Seam*.

6. Lapisan Batubara B₁ (Suban)

Lapisan Batubara ini memiliki ketebalan 17 m. Ketebalan terbesar terdapat dekat dengan antiklin Muara Tiga, yaitu sekitar 20 m dan ketebalan terkecil sekitar 10 m.

7. Lapisan *Interburden* B₁ – B₂

Lapisan ini mengandung batulempung dan batulanau yang tipis.

8. Lapisan Batubara B2

Lapisan batubara ini memiliki ketebalan 4,3 – 5,5 m.

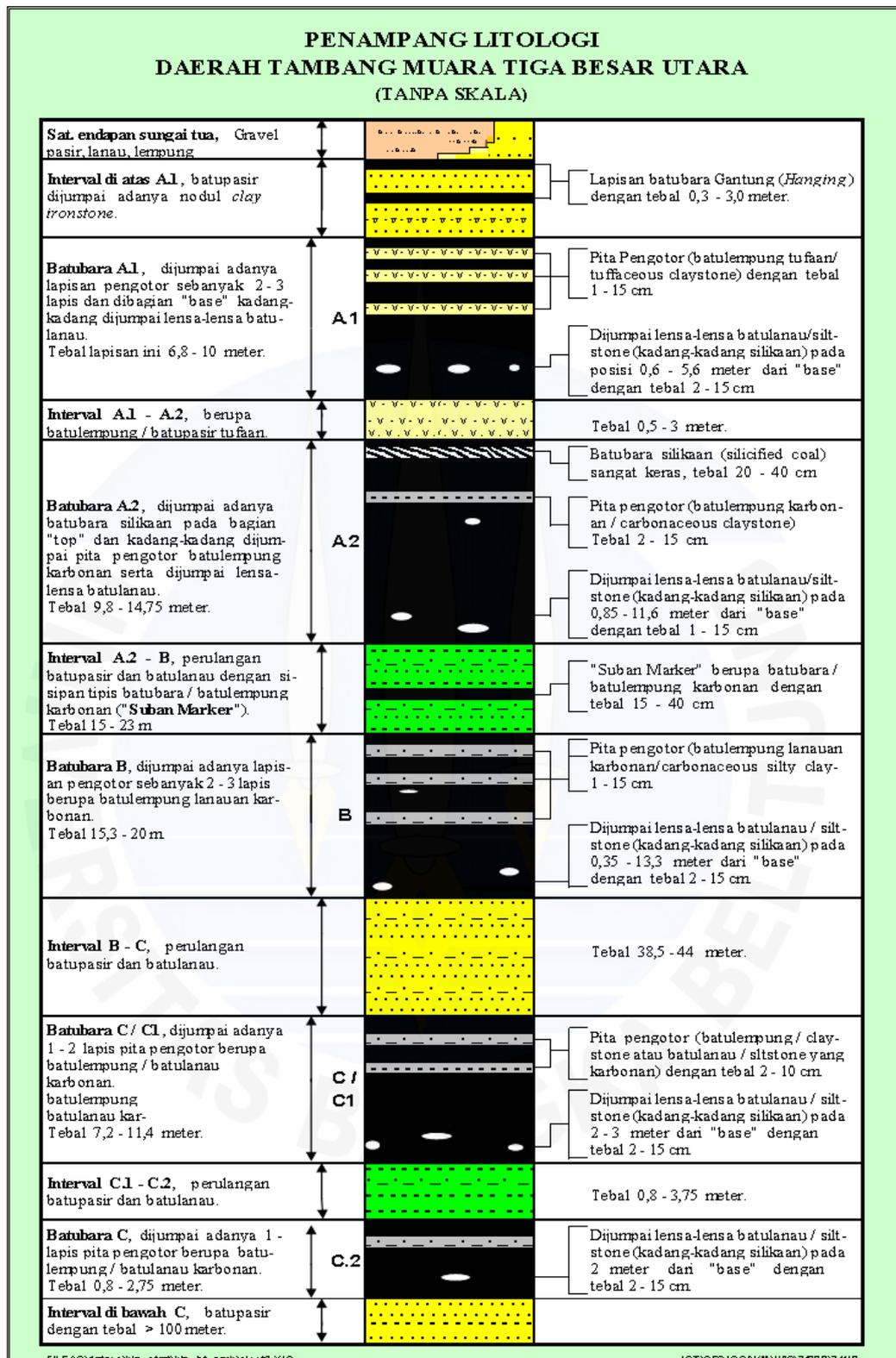
9. Lapisan Interburden B2 – C

Lapisan ini dicirikan dengan adanya batupasir yang mendominasi dengan ketebalan rata-rata \pm 40 m. Material lain yang tersisip berupa batupasir lanauan yang berwarna abu – abu.

10. Lapisan Batubara C (Petai)

Lapisan Batubara ini memiliki ketebalan \pm 8,9 m dengan sisipan tipis batulempung dan dibawahnya terdapat batulempung dan batulanau. Pada lapisan C banyak dijumpai lensa-lensa batu lanau atau *siltstone* terkadang bersifat silikaan dan warnanya mirip batubara.





(Sumber : Arsip Geologi dan Eksplorasi Rinci PTBA, 2009)

Gambar 2.1 Penampang litologi daerah tambang Muara Tiga Besar Utara

2.5 Batubara

Batubara adalah benda padat yang mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen dalam kombinasi kimia bersama-sama dengan sedikit sulfur dan nitrogen. Terdapat di lapisan kulit bumi yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan yang telah mengalami metamorfosis dalam waktu relatif lama (Sukandarumidi, 1995). Batubara merupakan salah satu bahan bakar yang digunakan selain minyak dan gas bumi serta dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar energi maupun bahan baku industri.

Sifat terpenting batubara berhubungan dengan pembakaran. Batubara dapat dibakar untuk membangkitkan uap atau dikarbonisasikan untuk membuat bahan bakar cair atau dihidrogenisasikan untuk membuat metan. Gas sintetis atau bahan bakar berupa gas dapat diproduksi sebagai produk utama dengan jalan gasifikasi sempurna dari batubara dengan oksigen dan uap atau udara dan uap (Saipul, 2009).

2.5.1 Proses Pembentukan Batubara

Menurut Arif (2014), Batubara terbentuk melalui proses yang panjang. Banyak faktor yang terlibat dalam pembentukannya. Setiap faktor memegang peran tersendiri dan harus berada dalam kondisi setimbang. Pembentukan batubara bisa dibagi menjadi 2 tahap:

1. Tahap Bio kimia, merupakan tahap awal dari proses pematubaraan. Tahap ini menjadi proses pembusukan sisa-sisa tumbuhan yang disebabkan oleh bekerjanya bakteri anaerob. Karena produk warna dari proses ini adalah gambut, maka tahap awal pematubaraan sering disebut penggambutan (*peatification*).
2. Tahap Geo kimia, proses inilah yang disebut proses pematubaraan (*coalification*). Bertambah gelapnya warna dari massa pembentukan batubara, naiknya kekerasan dan perubahan tekstur. Proses ini terjadi perubahan dari gambut menjadi lignit, sub bituminus dan akhirnya antrasit menjadi meta antrasit.

Adapun urutan pembentukan batubara sebagai berikut (Muchjidin, 2006):

a. Gambut

Tumbuhan yang telah mati akan mengalami dekomposisi sebagian dan terakumulasi dalam payau. Gambut ini masih tercampur dengan lumpur pada

waktu pengambilannya, sehingga kandungan airnya antara 80 - 90%. Gambut yang telah dikeringkan di udara terbuka mengandung air antara 5 - 6%. Gambut tersebut akan menjadi bahan bakar yang lebih baik tetapi nilai kalornya kecil.

b. Lignit

Merupakan suatu nama yang digunakan untuk produk kualifikasi gambut tahap pertama. Lignit biasanya mengandung sedikit material kayu dan mempunyai struktur yang lebih kompak dibandingkan gambut. Lignit segar yang baru ditambang mempunyai kandungan air antara 20 – 24% dengan nilai kalor 3056-4611 kal/gr sedangkan untuk lignit bebas air dan abu berkisar antara 10000-11111 kal/gr.

c. Sub bituminus

Jenis batubara ini biasanya berwarna hitam mengkilap seperti kilapan logam tetapi karakternya sering berubah. Pada waktu ditambang kandungan airnya mencapai 40% dengan nilai kalor sekitar 4444–6111 kal/gr. Kandungan hidrogen akan tetap konstan dan oksigen turun.

d. Bituminus

Tingkatan-tingkatan batubara, khususnya sebagai bahan bakar dengan nilai kalor antara 4444–8333 kal/gr. Batubara bituminus perlu dikategorikan ke dalam beberapa sub-kelas akibat peran dan keragamannya, yaitu:

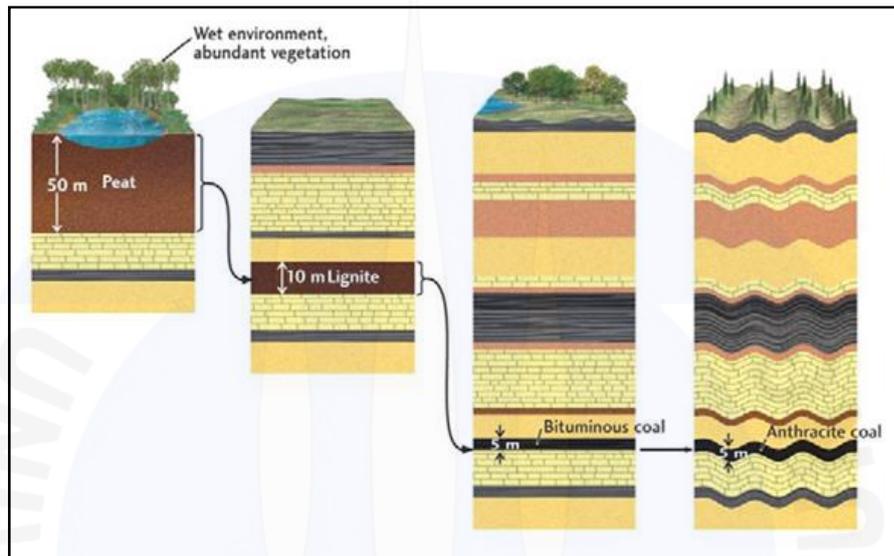
- Bituminus dengan kandungan zat terbang tinggi
- Bituminus dengan kandungan zat terbang menengah
- Bituminus dengan kandungan zat terbang rendah.

e. Semiantrasit

Batubara semiantrasit merupakan batubara yang memiliki karakter antara batubara bituminus yang kandungan zat terbangnya tinggi dengan antrasit. Kandungan zat terbang batubara ini berkisar antara 8 – 14 % dengan demikian batubara ini lebih mudah terbakar dibandingkan antrasit dengan warna nyala sedikit kekuning-kuningan.

f. Antrasit

Umumnya antrasit disebut batubara keras. Sifat antrasit ditentukan oleh susunan keteraturan molekul dan derajat kilap, maka antrasit menyala perlahan-lahan serta nilai kalor tinggi antara 7222 – 7778 kal/gr dengan nyala biru pucat dan bebas asap. Oksigen dalam tahapan ini hampir konstan, sedangkan hidrogen turun lebih cepat dibandingkan tahap-tahap sebelumnya.



Gambar 2.2 Skema pembentukan batubara (Muchjidin, 2006)

2.5.2 Klasifikasi Batubara

Secara umum, klasifikasi batubara di Indonesia dibagi menjadi *brown coal* dan *hard coal* (SNI13-6011-1999, 1999). *Brown coal* (batubara energi rendah) adalah jenis batubara dengan peringkat paling rendah, bersifat lunak, mudah diremas, mengandung air yang tinggi (10-70%), dan terdiri atas *soft brown coal* dan *lignitic* atau *hard brown coal*. Nilai kalorinya <7.000 kal/gr (*dry ash free-ASTM* 388-1984). *Hard coal* didefinisikan sebagai semua jenis batubara yang memiliki peringkat lebih tinggi dari *brown coal*, bersifat lebih keras, tidak mudah diremas, kompak, mengandung kadar air yang relatif rendah, umumnya struktur kayu tidak tampak lagi, dan relatif tahan terhadap kerusakan fisik pada saat penanganan (*coal handling*) (Smakowski, 2011). Nilai kalorinya >7.000 kal/gr (*dry ash free-ASTM* 388-1984).

Tabel 2.1 Klasifikasi batubara berdasarkan nilai *coal rank*

Coal rank		Vitrinite reflectance (random)	Volatile matter (wt.% dmmf)	Bed moisture (wt %)	Calorific value MJ/kg (moist,mmf)	Hydro- carbon generation	Principal uses	
Class	Group							
Anthracitic ²	Meta-anthracite	2.50	2	8	32.6	Dry Gas	Space heating Chemical production	
	Anthracite		8					
	Semianthracite		14					
Bituminous	Low volatile bituminous	1.51	22	31	32.6	Wet Gas	Metallurgical coke production Cement production Thermal electric power generation	
	Medium volatile bituminous		22					
	High volatile A bituminous		31					
	High volatile B bituminous		0.50- 0.75					30.2
	High volatile C bituminous							
	0.50 ?							
Subbituminous	Subbituminous A ³	0.42	8-10	25	26.8	Oil and Gas	Thermal electric power generation Conversion to liquid and gaseous petroleum substitutes	
	Subbituminous B		24.4					
	Subbituminous C		22.1					
Lignitic	Lignite A	0.42	35	19.3	14.7	Early Gas	Thermal electric power generation Char production Space heating	
	Lignite B		75					
	Peat							

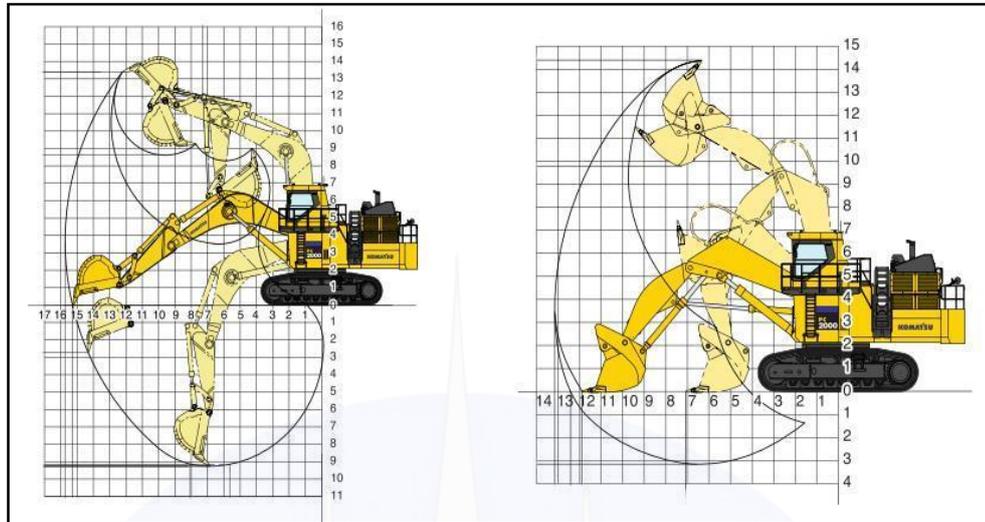
(Sumber: ASTM, 1981)

2.5.3 Peralatan Penggalian dan Pengangkutan Batubara

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam kegiatan penggalian dan pengangkutan batubara adalah sebagai berikut:

A. Excavator

Excavator disebut juga hydraulic excavator karena dalam pengoperasiannya biasanya dimanfaatkan dengan tenaga hidrolik. Penugasan dari *excavator* terbagi menjadi dua yakni backhoe dan power shovel (Peurifoy, 2006). Penggunaan backhoe penambanganya digunakan untuk penggalian yang mengarah ke bawah dari permukaan tanah. Penggunaan power shovel untuk penambanganya digunakan untuk penggalian material keras dengan mengarah ke atas dan pemuatan material pada alat angkut. Konfigurasi power shovel memiliki *boom* yang lebih pendek, *cycle time* lebih lama namun, kapasitas *bucket*-nya menjadi lebih besar (Tenriajeng, 2003). Pergerakan penggalian dari keduakonfigurasi hydraulic excavator hanya dibedakan dari arah menggalnya yaitu untuk backhoe mengarah ke bawah, sedangkan untuk power shovel mengarah ke atas.



Gambar 2.3 Excavator menurut cara pergerakan penggalian (Tenriajeng, 2003)

B. Dump Truck

Dump truck merupakan alat angkut yang biasa digunakan dalam kegiatan *hauling* karena penggunaannya lebih fleksibel, artinya dapat dipakai untuk mengangkut bermacam-macam jenis material seperti batubara ataupun *overburden* dengan berat muatan yang beragam. Produktivitas dari dump truck tergantung dari kapasitas muatan atau kapasitas *vessel* dan juga jumlah putaran yang dapat dilakukan dalam satu jam yang berkaitan dengan *cycle time*. *Cycle time* dari truck memiliki empat komponen yaitu waktu muat, waktu angkut, waktu tumpah material, dan waktu kembali (Peurifoy, 2006). Dump truck dapat dibedakan berdasarkan bentuk kerangkanya, yaitu:

1. Articulated Dump Truck

Articulated dump truck ini memiliki rangka kabin terpisah dari kerangka belakang atau *vessel* sehingga pengoperasiannya menjadi lebih fleksibel. Articulated dump truck cocok untuk kegiatan yang memerlukan tahanan gulir yang tinggi dan lokasi dimana rigid frame truck sulit bekerja.



Gambar 2.4 Articulated dump truck (Peurifoy, 2006)

2. Rigid Dump Truck

Rigid dump truck jenis ini memiliki rangka bagian kabin yang bersatu dengan bagian *vessel* sehingga pergerakannya kurang fleksibel. Jenis truck ini cocok untuk digunakan pada pengangkutan berbagai jenis material.



Gambar 2.5 Ringid dump truck (Peurifoy, 2006)

C. Bulldozer

Menurut Tenriajeng (2003), alat berat yang mempunyai roda rantai untuk pekerjaan serbaguna yang memiliki traksi tinggi disebut bulldozer. Bulldozer digunakan untuk menggali (*digging*), mendorong (*pushing*), menggusur, meratakan, menarik beban, menimbun, dan lain-lain.

Pekerjaan bulldozer pada pemindahan tanah mekanis (Tenriaejeng, 2003):

1. Membersihkan medan dari kayu, tonggok pohon dan bebatuan.
2. Membuka jalan kerja di daerah berbatu maupun di daerah pegunungan.

3. Pemindahan tanah dengan jarak hingga kurang dari 100 meter.
4. Menghamparkan tanah isian (*fills*).
5. Memelihara jalan kerja.



Gambar 2.6 Bulldozer (Peurifoy, 2006)

2.6 Produktivitas Alat Pemindah Tanah Mekanis

A. Excavator

Produktivitas excavator backhoe dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Tenriajeng, 2003):

$$P = \frac{Kb \times Bf \times 3600 \times FK}{Ct} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

P = Produktivitas alat muat, bcm/jam atau ton/jam untuk batubara

Kb = Kapasitas *bucket specs* alat

Bf = Faktor *bucket*

FK = Faktor koreksi (*fill factor* × efisiensi kerja alat × *swell factor*)

Ct = Waktu edar alat muat/excavator, detik

B. Bulldozer

a. Penggusuran

Untuk menghitung penggusuran pada bulldozer digunakan persamaan berikut (Tenriajeng, 2003):

$$P = \frac{KB \times 60 \times FK}{\frac{J}{F} \frac{J}{R} + Z} \times SF \times D \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- P = Produksi Bulldozer
 = Produksi Batubara (ton/jam)
 = Produksi Tanah (BCM/jam)
- KB = Kapasitas Blade (m³)
- FK = Faktor Koreksi
- J = Jarak dorong (m)
- F = Kecepatan Maju (m/menit)
- R = Kecepatan Mundur (m/menit)
- Z = Waktu tetap (menit)
- SF = *Swell Factor*
- D = *Density* (ton/m³)

b. Penggaruan (*Ripping*)

Untuk menghitung penggaruan pada bulldozer digunakan persamaan berikut (Tenriajeng, 2003):

$$P = \frac{W \times K \times J \times 60 \times FK}{\frac{J}{F} + \frac{J}{R} + Z} \times SF \times D \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- P = Produksi Ripper
 = Produksi Batubara (ton/jam)
 = Produksi Tanah (BCM/jam)
- K = Kedalaman penggaruan (m)
- W = Lebar Garuan (K²) (m)
- EK = Efisiensi Kerja
- J = Jarak dorong (m)
- F = Kecepatan Maju (m/menit)
- R = Kecepatan Mundur (m/menit)
- Z = Waktu tetap (menit)
- SF = *Swell Factor*
- D = *Density* (ton/m³)

c. Kombinasi

$$P = \frac{Pd \times Pr}{Pd + Pr} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

P = Produksi Kombinasi

Pd = Produksi Bulldozer

Pr = Produksi Ripper

C. Dump Truck

Produktivitas dump truck dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Tenriajeng, 2003):

$$P = \frac{n \times Kb \times Eff \times Fb \times Sf \times 3600}{Ct} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

P = Produktivitas alat angkut (bcm/jam atau ton/jam)

n = Frekuensi pengisian truck

Kb = Kapasitas *bucket specs* alat

Fb = *Factor bucket*

Sf = *Swell factor*

Eff = Efisiensi kerja alat

Ct = Waktu edar alat angkut/dump truck (s)

2.6.1 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Alat Pemindahan Tanah Mekanis

Faktor-faktor yang mempengaruhi produk alat pemindahan tanah mekanis adalah (Tenriajeng, 2003):

A. Lokasi Kerja

1. Ketinggian

Ketinggian akan mempengaruhi efisiensi dan kinerja alat dimana kinerja alat berkurang 3% setiap naik 1000 ft dari permukaan air laut. Hal itu disebabkan semakin berkurangnya jumlah oksigen di tempat yang lebih tinggi sehingga menurunnya produktivitas alat.

2. Kemiringan jalan

Kemiringan jalan akan mempengaruhi daya angkut dan alat angkut yang dipakai. Jalan yang baik tentunya kapasitas angkut akan baik begitu pula dengan kondisi kemiringan jalan. Kemiringan jalan akan mempengaruhi waktu pengangkutan yang diperlukan untuk satu kali edar (*cycle time*) sehingga bila terjadi kesalahan pada saat penentuan kemiringan jalan akan menambah ongkos pengangkutan karena material yang dipindahkan tidak sesuai dengan yang direncanakan.

B. Waktu Edar (*Cycle Time*) Alat Gali Muat dan Alat Angkut

Waktu edar adalah waktu yang digunakan oleh alat mekanis untuk melakukan satu siklus kegiatan (Anaperta, 2006). Setiap alat memiliki komponen waktu edar yang berlainan. Besar kecilnya waktu edar tergantung pada jumlah komponen yang ada dan waktu yang diperlukan oleh masing-masing komponen tersebut. Waktu edar alat gali muat yaitu waktu yang dibutuhkan alat gali muat dalam melakukan pemuatan material ke dalam alat angkut dalam satu siklus yang terdiri dari waktu menggali, waktu mengayun isi, waktu menumpahkan material, dan waktu mengayun kosong, sedangkan waktu edar alat angkut yaitu waktu yang dibutuhkan alat angkut untuk proses pengangkutan material yang meliputi waktu pengisian, waktu perjalanan isi, waktu penumpahan, waktu perjalanan kosong, dan waktu *manuver* (Zailani, 2014).

Waktu edar alat gali muat dan alat angkut dapat diperoleh dengan cara pengamatan di lapangan, yaitu:

1. Waktu edar alat gali muat

Waktu edar alat gali muat (excavator) adalah akumulasi dari waktu penggalian, waktu *swing* berisi, waktu *dumping*, dan waktu *swing* kosong (Komatsu, 2009).

$$CT \text{ Loading} = T_{\text{Excavate}} + T_{\text{Swing loaded}} + T_{\text{Dumping}} + T_{\text{Swing empty}} \dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

$CT \text{ Loading}$ = waktu edar alat gali muat (detik)

$T \text{ excavate}$ = waktu menggali material (detik)

$T \text{ swing loaded}$ = waktu putar dengan *bucket* terisi/*swing loaded* (detik)

$T_{dumping}$ = waktu menumpahkan muatan (detik)

$T_{swing\ empty}$ = waktu putar dengan *bucket* kosong/*swing empty* (detik)

2. Waktu edar alat angkut

Waktu edar alat angkut (dump truck) adalah akumulasi dari waktu dump truck mengambil posisi untuk dimuat, waktu *loading*, waktu pengangkutan, waktu mengambil posisi untuk *dumping* (pengosongan muatan), waktu *dumping*, dan waktu kembali saat bak dalam keadaan kosong (Komatsu, 2009).

$$CT\ Dump\ truck = Ta_1 + Ta_2 + Ta_3 + Ta_4 + Ta_5 + Ta_6 \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

CT dump truck = Waktu edar alat angkut (detik)

Ta_1 = Waktu mengambil posisi untuk dimuat (detik)

Ta_2 = Waktu diisi muatan (*loading*) (detik)

Ta_3 = Waktu mengangkut muatan (detik)

Ta_4 = Waktu mengambil posisi untuk penumpahan (detik)

Ta_5 = Waktu pengosongan muatan (detik)

Ta_6 = Waktu kembali kosong (detik)

C. Peralatan

Peralatan merupakan faktor yang menunjukkan kondisi alat-alat mekanis yang digunakan dalam melakukan pekerjaan dengan memperhatikan kehilangan waktu selama waktu kerja dari alat yang tersedia. Kemampuan alat merupakan salah satu hal yang mempengaruhi produksi karena hal tersebut berpengaruh dalam kinerja alat dan cocok atau tidaknya alat digunakan di lokasi tersebut selain itu, alat yang akan digunakan juga disesuaikan dengan target produksi agar produksi yang di inginkan tercapai.

D. Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja adalah penilaian terhadap pelaksanaan suatu pekerjaan atau merupakan perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu yang tersedia (Tenriajeng, 2003). Efisiensi kerja dipengaruhi berbagai faktor meliputi efisiensi waktu, efisiensi alat, kinerja operator, dan ketersediaan alat (Tenriajeng, 2003). Efisiensi kerja memiliki 3 komponen waktu yaitu:

1. Waktu kerja

Waktu kerja merupakan waktu yang digunakan alat untuk beroperasi, dimulai dari awal hingga akhir. Waktu kerja memiliki beberapa variabel yaitu waktu efektif dan waktu *delay*. Waktu efektif merupakan waktu yang benar-benar digunakan peralatan untuk beroperasi, sedangkan waktu *delay* merupakan waktu hambatan seperti waktu pengisian bahan bakar, pemeriksaan mesin, pemindahan alat dan kondisi cuaca.

2. Waktu *stanby*

Waktu *standby* merupakan waktu dari peralatan mekanis yang tidak dapat digunakan, namun alat tidak rusak dan dapat beroperasi.

3. Waktu *repair*

Waktu *repair* merupakan waktu perbaikan peralatan mekanis pada saat jam operasi penambangan berlangsung, termasuk waktu perawatan dan waktu menunggu suku cadang alat. Nilai efisiensi kerja dipengaruhi oleh waktu kerja efektif dan waktu kerja yang tersedia:

$$Eff = (\text{Waktu kerja efektif} / \text{Waktu kerja tersedia}) \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

E. Cuaca

Cuaca adalah keadaan alam yang tidak bisa ditentukan oleh manusia seperti hujan atau pun panas. Kondisi cuaca akan sangat berpengaruh pada lokasi penambangan, pada cuaca hujan dimana keadaan lokasi akan membuat lapisan tanah menjadi lengket dan jalan menjadi licin sehingga alat-alat tidak dapat bekerja dengan optimal. Musim panas akan membuat lapangan berdebu sehingga pandangan para operator terhambat. Hubungan cuaca ini dapat disimpulkan bahwa panas dan dingin (suhu) akan mengurangi efisiensi kerja daripada alat tersebut.

F. Keadaan Jalan Angkut

Keadaan jalan angkut akan sangat mempengaruhi kemampuan produksi alat angkut. Keadaan jalan angkut dilihat dari kondisinya apakah rata, bergelombang, kasar, halus, lunak atau keras karena keadaan ini akan mempengaruhi besarnya *rolling resistance* (RR) yang dihasilkan oleh permukaan jalan angkut terhadap ban dari alat angkut, selain itu keadaan jalan

angkut dilihat juga dari geometrinya yaitu bentuk dan ukuran jalan yang sesuai dengan tipe alat angkut yang digunakan dan kondisi medan yang ada sehingga menjamin keselamatan dan keamanan operasi pengangkutan (Indonesianto, 2005).

2.6.2 Faktor Keserasian Kerja (*Match Factor*)

Faktor keserasian kerja antara alat muat dan alat angkut perlu diperhatikan (Indonesianto, 2005). Perhitungan keserasian kerja antara alat gali muat dan alat angkut dipengaruhi oleh jumlah dan *cycle time* dari alat gali muat dan alat angkut:

$$MF = \frac{nH \times f \times CtL}{nL \times CtH} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

- MF = *Match Factor*
- nH = Jumlah truk
- nL = Jumlah alat muat
- CtH = Waktu edar alat angkut (menit)
- CtL = Waktu edar alat muat (menit)
- f = Frekuensi pengisian truk

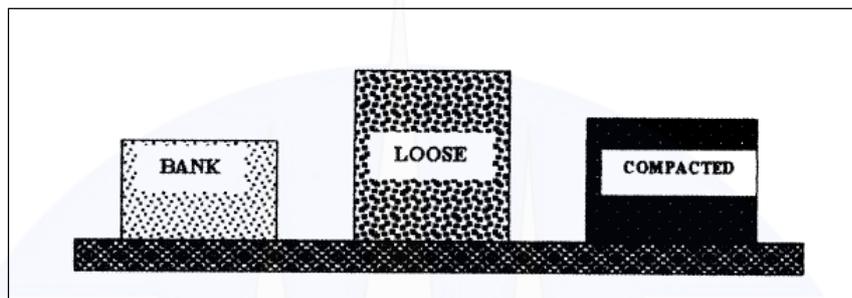
Keserasian kerja antara alat gali muat dan alat angkut berpengaruh terhadap faktor kerja. Hubungan yang tidak serasi antara alat gali muat dan alat angkut akan menurunkan faktor kerja. Faktor kerja alat gali muat dan alat angkut akan mencapai 100% jika $MF = 1$, sedangkan bila $MF < 1$ maka faktor kerja alat angkut = 100% dan faktor kerja alat gali muat $< 100\%$ (alat *loading* menunggu alat angkut). Sebaliknya bila $MF > 1$, maka faktor kerja alat muat = 100% dan faktor kerja alat angkut $< 100\%$ (alat *hauling* antri). Keserasian kerja antara alat muat dan alat angkut akan terjadi pada saat harga $MF = 1$, pada saat itu kemampuan alat muat akan sesuai dengan alat angkut (Indonesianto, 2005).

2.6.3 *Swell Factor*

Menurut Tenriajeng (2003), *swell* atau pengembangan material adalah berupa penambahan atau pengurangan volume material yang diganggu dari bentuk aslinya. Bentuk material dibagi menjadi tiga keadaan (Gambar 2.7) yaitu:

a. Keadaan Asli (*Bank Condition*)

Bank condition merupakan keadaan material yang masih alami dan belum mengalami gangguan. Kondisi seperti ini butiran-butiran dalam material masih terkonsolidasi dengan baik. Ukuran material dalam keadaan asli dinyatakan dalam *Bank Cubic Meter* (BCM) yang digunakan sebagai dasar perhitungan jumlah pemindahan tanah.



Gambar 2.7 Keadaan material tanah (Tenriajeng, 2003)

b. Keadaan Gembur (*Loose Condition*)

Keadaan gembur (*loose condition*) merupakan keadaan material setelah diadakan pengerjaan (*distrub*). Material yang tergali dari tempat asalnya akan mengalami perubahan volume (terjadi pengembangan). Hal ini disebabkan adanya penambahan rongga udara diantara butiran-butiran material sehingga volumenya menjadi lebih besar. Ukuran volume tanah dalam keadaan lepas dinyatakan dalam *Loose Cubic Meter* (LCM).

c. Keadaan Padat (*Compacted*)

Keadaan padat merupakan keadaan tanah setelah ditimbun kembali dengan disertai pemadatan. Perubahan volume terjadi karena adanya penyusutan rongga udara diantara partikel-partikel material sehingga volumenya berkurang sedangkan beratnya tetap. Ukuran volume material dalam keadaan padat dinyatakan dalam *Compact Cubic Meter* (CCM). Faktor pengembangan (*swell factor*) merupakan perbandingan *volume* sebelum digali (*volume bank*) dan *volume* setelah digali (*volume loose*). Faktor pengembangan juga dapat diketahui dari perbandingan densitas material lepas dengan densitas material *insitu*-nya. Menurut Indonesianto (2013), rumus untuk menghitung *swell factor* adalah sebagai berikut:

$$SF = \frac{\text{Bank Volume}}{\text{Loose Volume}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Faktor pengembang dari batubara antrasit dan batubara bituminus muda adalah 74% (Lampiran E).

2.7 Ketersediaan dan Penggunaan Alat

Menurut Indonesiatio (2012), ketersediaan alat merupakan faktor yang menunjukkan kondisi alat-alat mekanis yang digunakan dalam melakukan pekerjaan dengan memperhatikan kehilangan waktu selama waktu kerja dari alat yang tersedia.

1. *Mechanical Availability (MA)*

Faktor ketersediaan alat dalam melakukan pekerjaan berdasarkan jam efektif kerja dan waktu perbaikan. Jika ketersediaan mekanik kecil maka kondisi mekanis alat kurang baik dan jam perbaikan tinggi.

$$Ma = \frac{W}{W+R} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

MA = *Mechanical Availability*

W = Jumlah jam kerja alat tanpa mengalami kerusakan

R = Jumlah jam perbaikan

2. *Physical Availability (PA)*

Faktor ketersediaan alat untuk melakukan kerja berdasarkan jam efektif, jam *standby* dan jam perbaikan. Ketersediaan fisik selalu lebih besar dari ketersediaan mekanis, berarti bahwa alat belum digunakan sesuai dengan kemampuannya. *Physical availability* merupakan faktor penting untuk menyatakan unjuk kerja *mechanical* alat dan juga sebagai petunjuk terhadap efisiensi mesin dalam program penjadwalan. Nilai *physical availability* biasanya lebih besar daripada nilai *mechanical availability*, tetapi keduanya bisa sama, apabila *standby hours* sama dengan 0. Jika nilai *physical availability* mendekati nilai *mechanical availability* berarti efisiensi operasi meningkat. Baik *mechanical availability* maupun *physical availability*, keduanya tidak menunjukkan waktu yang sebenarnya dari alat yang siap pakai (*availabilty*) dan

benar-benar dipakai (*actual used*). Untuk mengetahui berapa persen dari waktu yang sebenarnya alat tersebut bekerja, digunakan *factor use of availability*.

$$PA = \frac{W+S}{W+S+R} \times 100\% \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

W = *Working Hours* atau jumlah jam kerja alat

R = *Repair* atau jumlah jam untuk perbaikan

S = *Standby hours* atau jumlah jam suatu alat yang tidak dapat dipergunakan.

3. *Use of Availability* (UA)

Faktor yang menunjukkan efisiensi kerja alat selama waktu kerja yang tersedia dimana kondisi alat tidak rusak. Faktor ini bertujuan untuk mengetahui berapa efektif alat yang tidak rusak dimanfaatkan dan menjadi ukuran seberapa baik pengolahan peralatan yang digunakan. Presentase rendah menunjukkan bahwa pengoperasian alat tidak maksimal.

$$UA = \frac{W}{W+S} \times 100\% \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

UA = *Use of availability*.

W = *Working hours*

W+S = Seluruh waktu jam kerja kecuali waktu perbaikan

4. *Effective Utilization* (EU)

Faktor yang menunjukkan berapa persen dari seluruh waktu kerja yang tersedia dapat dimanfaatkan untuk bekerja atau persen waktu yang dimanfaatkan oleh alat untuk bekerja dari sejumlah waktu kerja yang tersedia. *Effective Utilization* sangat mirip dengan *Use of Availability* dan berbeda hanya dalam hubungan *hours worked* dengan *total hours* dibandingkan dengan *available hours*. Untuk menghitung *Effective Utilization* (EU) rumusnya sebagai berikut:

$$EU = \frac{W}{W+S+R} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

W = *Working Hours* atau jumlah jam kerja alat

- R = *Repair* atau jumlah jam untuk perbaikan
 S = *Standby hours* atau jumlah jam suatu alat yang tidak dapat dipergunakan.

2.8 Biaya

Biaya (*cost*) merupakan semua pengorbanan yang dibutuhkan dalam rangka mencapai suatu tujuan yang diukur dengan nilai uang (Giatman, 2006). Biaya produksi alat adalah biaya-biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk memproduksi suatu produk karena menggunakan alat mekanis. Biaya produksi alat terdiri dari dua macam yaitu biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya variabel (*variable cost*). Biaya tetap alat mengacu pada biaya yang terjadi bahkan bila alat tersebut tidak dapat bekerja atau rusak sedangkan biaya variabel alat adalah biaya yang terjadi dalam pengoperasian alat.

Perhitungan biaya sewa alat sesuai perjanjian kontrak PT PamaPersada Nusantara dengan PT Bukit Asam Tbk Tanjung Enim meliputi:

- a. Perhitungan biaya sewa alat excavator dan alat bulldozer berdasarkan rumus:

$$\text{Sewa alat} = \text{jam kerja alat} \times \text{tarif sewa alat} \dots\dots\dots (2.15)$$

Perhitungan jam kerja alat, berdasarkan rumus:

$$\text{Jam kerja alat} = \frac{\text{Target produksi batubara}}{\text{Produktivitas alat}} \dots\dots\dots (2.16)$$

- b. Perhitungan biaya sewa alat dump truck dengan dapat menggunakan rumus:

$$\text{Biaya pengangkutan} = \text{tarif jarak angkut} \times \text{tonase batubara} \quad (2.17)$$