

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Klasifikasi Sumberdaya Dan Cadangan Batubara**

Badan Standarisasi Nasional (BSN) telah menetapkan pembakuan mengenai Klasifikasi Sumberdaya Mineral dan Cadangan SNI Nomor 5015 Tahun 2011. Dalam pembakuan ini didefinisikan bahwa sumberdaya batubara adalah bagian dari endapan batubara dalam bentuk dan kuantitas tertentu serta mempunyai prosepek beralasan yang memungkinkan untuk ditambang secara ekonomis. Lokasi, kualitas, kuantitas karakteristik geologi dan kemenerusan dari lapisan batubara yang telah diketahui, diperkirakan atau diintrepesitasikan dari bukti geologi tertentu. Klasifikasi sumberdaya dan cadangan batubara BSN, 2011 :

- Sumberdaya batubara tereka (*inferred coal resource*) : bagian dari total estimasi sumberdaya batubara yang kualitas dan kuantitasnya hanya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan rendah. Titik informasi yang mungkin didukung oleh data pendukung tidak cukup untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan kualitasnya.
- Sumberdaya batubara tertunjuk (*indicated coal resource*): bagian dari total sumberdaya batubara yang kualitas dan kuantitasnya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan yang masuk akal, didasarkan pada informasi yang didapatkan dari titik – titik pengamatan yang mungkin didukung oleh data pendukung. Titik

informasi yang ada cukup untuk mengintrepetasikan kemenerusan lapisan batubara, tapi tidak cukup untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan kualitasnya.

- Sumberdaya batubara terukur (*measured coal resource*): bagian dari total sumberdaya batubara yang kualitas dan kuantitasnya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan tinggi, didasarkan pada informasi yang didapat dari titik – titik pengamatan yang diperkuat dengan data – data pendukung. Jarak titik – titik pengamatan cukup berdekatan untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara atau kualitasnya.
- Cadangan Batubara Terkira (*Probable Coal Reserve*) : bagian dari sumberdaya batubara tertunjuk yang dapat ditambang secara ekonomis setelah faktor – faktor penyesuai terkait diterapkan, bisa juga sebagian bagian dari sumberdaya batubara terukur yang dapat ditambang secara ekonomis, tapi ada ketidakpastian pada salah satu atau semua faktor penyesuaian yang terkait diterapkan.
- Cadangan Batubara Terbukti (*Proved Coal Reserve*) : bagian yang dapat ditambang secara ekonomis dari sumberdaya batubara terukur setelah faktor – faktor penyesuai yang terkait diterapkan.

Persyaratan jarak titik informasi untuk setiap kondisi geologi dan kelas sumberdaya diperlihatkan pada Tabel 3.1

**Tabel 3.1**  
**Jarak Titik Informasi Menurut Kondisi Geologi**

<b>Kondisi Geologi</b>	<b>Kriteria</b>	<b>Sumber Daya</b>		
		<b>Terukur</b>	<b>Tertunjuk</b>	<b>Tereka</b>
<b>Sederhana</b>	Jarak titik informasi (m)	$X \leq 500$	$500 < X \leq 1000$	$1000 < X \leq 1500$
<b>Moderat</b>	Jarak titik informasi (m)	$X \leq 250$	$250 < X \leq 500$	$500 < X \leq 1000$
<b>Komplek</b>	Jarak titik informasi (m)	$X \leq 100$	$100 < X \leq 200$	$200 < X \leq 400$

Sumber : *Pedoman, Pelaporan Sumberdaya dan Cadangan Batubara, SNI 5015-2011*

Uraian tentang batasan umum untuk masing-masing kondisi geologi diatas adalah sebagai berikut:

A. Kondisi geologi sederhana

Dengan ciri sebagai berikut:

- Endapan batubara umumnya tidak dipengaruhi oleh aktifitas tektonik seperti sesar, lipatan, dan intrusi.
- Lapisan batubara umumnya landai, menerus secara lateral sampai ribuan meter, dan hampir tidak memiliki percabangan.
- Ketebalan lapisan batubara secara lateral dan kualitasnya tidak menunjukkan variasi yang berarti.
- Contoh batubara di Bangko Selatan dan Muara Tiga Besar (Sumsel), Senakin Barat (Kalsel), dan Cerenti (Riau)

B. Kondisi geologi moderat

Dengan ciri sebagai berikut:

- Endapan batubara sampai tingkat tertentu telah mengalami pengaruh deformasi tektonik.
- Pada beberapa tempat, intrusi batuan beku mempengaruhi struktur lapisan dan kualitas batubaranya.
- Sebaran percabangan batubara masih dapat diikuti sampai ratusan meter.
- Contoh batubara di Senakin, Formasi Tanjung (Kalsel), Loa Janan-Loa Kulu, Petanggis (Kaltim), Suban dan Air Laya (Sumsel), serta Gunung Batu Besar (Kalsel).

C. Kondisi geologi kompleks

Dengan ciri sebagai berikut:

- Umumnya telah mengalami deformasi tektonik yang intensif.
- Pergeseran dan perlipatan akibat aktifitas tektonik menjadikan lapisan batubara sulit dikorelasi.
- Perlipatan yang kuat juga mengakibatkan kemiringan lapisan yang terjal.
- Sebaran lapisan batubara secara lateral terbatas dan hanya dapat diikuti sampai puluhan meter.
- Contoh batubara di Ambakiang, Ninian, Belahiang dan Upau (Kalsel), Sawahluhung (Sumbar), Air Kotok (Bengkulu), Bojongmanik (Jabar), serta daerah batubara yang mengalami ubahan intrusi batuan beku di Bunan Utara (Sumsel).

### 3.2. Perhitungan Sumberdaya Dan Cadangan Batubara

Secara umum, permodelan dan perhitungan cadangan batubara memerlukan data dasar sebagai berikut (Syafrizal, 2005) :

- Peta topografi
- Data penyebaran singkapan batubara
- Data sebaran titik bor
- Peta geologi lokal
- Peta situasi dan data yang memuat batasan-batasan alamiah seperti aliran sungai, jalan, perkampungan, dan lain-lain.

Data penyebaran singkapan batubara berguna untuk mengetahui garis singkapan/garis khayal lapisan batubara yang memotong permukaan (cropline), merupakan posisi dimana penambangan dimulai. Dari pemboran diperoleh hasil berupa data elevasi atap (*roof*) dan lantai (*floor*) batubara. Peta situasi dan data yang memuat batasan-batasan alamiah (aliran sungai, jalan, perkampungan, dan sebagainya) berguna untuk menentukan batas (*boundary*) perhitungan cadangan. Endapan batubara yang tidak dapat ditambang karena batasan-batasan alamiah tersebut tidak diperhitungkan dalam perhitungan cadangan.

Dari data dasar tersebut akan dihasilkan data olahan, yaitu data dasar yang diolah untuk mendapatkan model endapan batubara secara 3 (tiga) dimensi untuk selanjutnya akan dilakukan penghitungan cadangan endapan batubara. Data olahan terdiri atas:

- Peta *isopach*, merupakan peta yang menunjukkan kontur penyebaran ketebalan batubara. Data ketebalan pada peta ini merupakan tebal

sebenarnya yang dapat diperoleh dari data bor, uji paritan, uji sumur, atau dari singkapan. Peta ini juga dapat disusun dari kombinasi peta iso struktur. Selain itu tujuan penyusunan peta ini adalah untuk menggambarkan variasi ketebalan batubara di bawah permukaan.

- Peta kontur struktur, menunjukkan kontur elevasi yang sama dari *top* atau *bottom* batubara. Untuk elevasi *top* atau *bottom* batubara dapat diperoleh dari data bor. Peta kontur struktur berguna untuk mengetahui arah umum/jurus masing-masing *seam* batubara, sekaligus sebagai dasar untuk menyusun peta iso-*overburden*.
- Peta iso kualitas, menunjukkan kontur hasil analisis parameter kualitas batubara. Peta ini berguna untuk menentukan daerah-daerah yang memenuhi syarat kualitas untuk ditambang.
- Peta iso-*overburden*, menunjukkan kontur ketebalan *overburden* (lapisan penutup) yang sama. Ketebalan tersebut dapat diperoleh dari data bor atau dari peta iso struktur dimana ketebalan *overburden* dapat dihitung dari perpotongan kontur iso struktur dengan kontur topografi. Peta iso-*overburden* cukup penting sebagai dasar evaluasi cadangan selanjutnya, dimana ketebalan tanah penutup ini dapat digunakan sebagai batasan awal dari penentuan *pit* potensial.
- Penampang geologi, disusun dari kombinasi antara peta *cropline* batubara dengan data pemboran. Perlapisan batubara disusun dengan melakukan interpolasi antar data *seam* pada setiap titik bor yang berdekatan. Garis penampang sebaiknya selalu diusahakan tegak lurus *cropline* batubara. Selanjutnya penampang *seam* batubara berguna

untuk memudahkan perhitungan sumberdaya sekaligus cadangan batubara dengan metode *mean area*. Selain itu dapat juga digunakan untuk menghitung cadangan tertambang (*mineable reserve*) dengan memasukan asumsi sudut lereng dengan SR.

### 3.3 Perencanaan Tambang (*Mine Plan*)

Ada berbagai macam perencanaan antara lain :

- a. Perencanaan jangka panjang, yaitu suatu perencanaan kegiatan yang jangka waktunya lebih dari 5 tahun secara berkesinambungan.
- b. Perencanaan jangka menengah, yaitu suatu perencanaan kerja untuk jangka waktu antara 1 – 5 tahun.
- c. Perencanaan jangka pendek, yaitu suatu perencanaan aktivitas untuk jangka waktu kurang dari setahun demi kelancaran perencanaan jangka menengah dan panjang.
- d. Perencanaan penyangga atau alternatif, bagaimanapun baiknya suatu perencanaan telah disusun. Kadang-kadang karena kemudian terjadi hal-hal tak terduga atau ada perubahan data dan informasi atau timbul hambatan yang sulit untuk diatasi, sehingga dapat menyebabkan kegagalan, maka harus diadakan perubahan dalam perencanaannya.

Agar perencanaan tambang dapat dilakukan dengan lebih mudah, masalah ini biasanya dibagi menjadi tugas-tugas sebagai berikut:

- a. Penentuan batas dari *pit*

Batas akhir penambangan (*pit limit*) merupakan batas wilayah layak tambang dari cadangan batubara. *Pit limit* penambangan menentukan

berapa besar cadangan batubara yang akan ditambang yang akan memaksimalkan nilai bersih total dari batubara tersebut. Penentuan batas akhir dari *pit* penambangan belum memperhitungkan waktu dan biaya.

b. Perancangan *sequence*

Perancangan *sequence* penambangan batubara merupakan tahapan penting dalam suatu perancangan geometri penambangan. Rancangan *sequence* penambangan menentukan lokasi awal penambangan hingga batas akhir dari kegiatan penambangan.

c. Penjadwalan produksi

Rancangan *sequence* penambangan batubara yang telah rancang, selanjutnya diestimasi berdasarkan urutan waktu dan target produksi.

Penjadwalan produksi akan menyajikan jumlah tanah penutup dan batubara yang akan ditambang berdasarkan periode tertentu.

d. Pemilihan alat

Berdasarkan peta-peta rencana penambangan dan penimbunan lapisan penutup dari tahap empat dapat dibuat profil jalan angkut untuk setiap periode waktu. Dengan mengukur profil jalan angkut ini, kebutuhan armada alat angkut dan alat muatnya dapat dihitung untuk setiap periode (setiap tahun). Jumlah alat bor untuk peledakan serta alat-alat bantu lainnya ikut diperhitungkan.

e. Perhitungan biaya-biaya operasi dan kapital

Dengan menggunakan tingkat produksi untuk peralatan yang dipilih, dapat dihitung jumlah giliran kerja (*operating shift*) yang diperlukan untuk

mencapai sasaran produksi. Jumlah dan jadwal kerja dari personil yang dibutuhkan untuk operasi, perawatan dan pengawasan dapat ditentukan.

### 3.4 Perancangan Tambang (*Mine Design*)

Rancangan (*design*) adalah penentuan persyaratan, spesifikasi dan kriteria teknik yang rinci dan pasti untuk mencapai tujuan dan sasaran kegiatan serta urutan teknis pelaksanaannya. Di Industri pertambangan juga dikenal rancangan tambang (*mine design*) yang mencakup pula kegiatan-kegiatan seperti yang ada pada perencanaan tambang, tetapi semua data dan informasinya sudah rinci (pemodelan geologi, pit potensial, pit limit, geoteknik, stripping ratio, dan data pendukung lainnya). Pada umumnya ada dua tingkat rancangan, yaitu :

- a. Rancangan konsep (*conceptual design*), yaitu suatu rancangan awal atau titik tolak rancangan yang dibuat atas dasar analisis dan perhitungan secara garis besar dan baru dipandang dari beberapa segi yang terpenting, kemudian akan dikembangkan agar sesuai dengan keadaan (*condition*) nyata di lapangan.
- b. Rancangan rekayasa atau rekacipta (*engineering design*), adalah suatu rancangan lanjutan dari rancangan konsep yang disusun dengan rinci dan lengkap berdasarkan data dan informasi hasil penelitian laboratoria serta literatur dilengkapi dengan hasil-hasil pemeriksaan keadaan lapangan.

Rancangan konsep pada umumnya digunakan untuk perhitungan teknis dan penentuan urutan kegiatan sampai tahap studi kelayakan (*feasibility study*), sedangkan rancangan rekayasa (rekacipta) dipakai sebagai dasar acuan atau pegangan dari pelaksanaan kegiatan sebenarnya di lapangan yang meliputi rancangan batas akhir tambang, tahapan penambangan (*mining stages/ mining phases pushback*), penjadwalan produksi dan material buangan (*waste*). Rancangan rekayasa tersebut biasanya juga diperjelas menjadi rancangan bulanan, mingguan dan harian. Suatu perancangan tambang mengacu pada beberapa parameter disain sebagai berikut :

a. *Stripping Ratio* (SR)

Secara umum, *Stripping Ratio* (SR) didefinisikan sebagai perbandingan jumlah volume tanah penutup yang harus dipindahkan untuk mendapatkan satu ton batubara.

b. *Pit Limit*

*Pit limit* merupakan batas akhir dari penambangan yang dipengaruhi oleh parameter SR, geoteknik (kemantapan lereng) dan kondisi geologi batubara.

c. Geoteknik

Didalam kajian geoteknik untuk perancangan tambang, terdapat beberapa geometri rancangan yang harus sesuai dengan rekomendasi geoteknik, yaitu :

- Tinggi Jenjang, yaitu maksimum tinggi dari jenjang yang diperbolehkan untuk didesain sesuai dengan hasil kajian geoteknik sehingga jenjang menjadi stabil/aman.
- Kemiringan Jenjang, yaitu sudut kemiringan jenjang yang diperbolehkan untuk didesain sesuai dengan hasil kajian geoteknik. Untuk desain pit bahan galian batubara, jenjang dibagi kepada 3 jenis jenjang yaitu *lowwall*, *sidewall*, dan *highwall* dengan besar sudut yang berbeda setiap jenisnya.
- Lebar *berm*, yaitu jarak antara kaki jenjang atas (*toe*) dengan kepala jenjang bawah (*crest*) yang didesain pada elevasi yang sama.
- Tinggi Lereng Keseluruhan (*Overall Bench Height*), adalah tinggi total dari jenjang dari permukaan topografi sampai kedalaman terbawah dari desain tambang (*pit bottom*).
- Kemiringan Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*), adalah sudut total dari jenjang sampai kedalaman terbawah dari desain tambang (*pit bottom*).

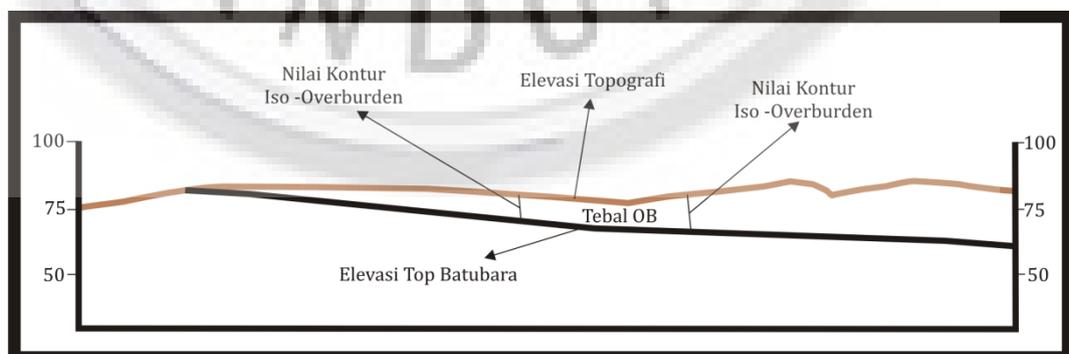
### 3.5 Penentuan dan Pemilihan *Pit* Potensial

Penentuan dan pemilihan *pit* potensial merupakan langkah awal dalam melakukan evaluasi cadangan batubara. Penentuan *pit* potensial ini diperlukan untuk dapat memperkirakan / memprediksi suatu areal sumberdaya batubara yang potensial untuk nantinya akan dikembangkan menjadi suatu lokasi *pit* penambangan.

Data awal yang diperlukan merupakan data yang diperoleh / dihasilkan pada saat melakukan model sumberdaya, yaitu :

- a. Peta topografi : untuk mengetahui (melihat) variasi topografi (terutama daerah tinggian – lembah).
- b. Peta geologi lokal : untuk mengetahui variasi litologi, pola sebaran dan kemenerusan lapisan batubara, serta pola struktur geologi.
- c. Peta iso-ketebalan : untuk mengetahui variasi ketebalan dari batubara, sehingga jika disyaratkan ketebalan minimum yang akan dihitung, maka peta ini dapat digunakan sebagai faktor pembatas.
- d. Peta elevasi *top* (atap / roof) batubara ; untuk mengetahui pola kemenerusan lapisan batubara.

Langkah awal yang dilakukan untuk penentuan *pit* potensial ini adalah membuat (mengkonstruksi) peta *iso-overburden*, yaitu dengan cara melakukan *overlay* antara peta struktur *roof* (elevasi top) batubara dengan peta topografi (Gambar 3.1). Nilai kontur pada peta *iso-overburden* merupakan refleksi dari ketebalan *overburden*.



Sumber : Syafrizal, 2000

**Gambar 3.1**  
**Sketsa Konstruksi Peta *Iso-Overburden*.**

Pada beberapa kondisi khusus seperti terbatasnya tinggi (tebal) *overburden* yang disyaratkan, maka Peta *Iso-overburden* ini dapat dengan cepat digunakan sebagai faktor pembatas dalam penentuan *pit limit*.

Adapun pola umum yang dapat diterapkan untuk penentuan *pit* potensial adalah sebagai berikut :

a. Identifikasikan faktor-faktor pembatas, seperti :

- Struktur geologi : jika pada model sumberdaya batubara diidentifikasi terdapat beberapa struktur geologi (seperti patahan), maka dapat dipisahkan menjadi beberapa *pit* potensial.
- Kondisi litologi : jika pada model sumberdaya batubara diidentifikasi adanya blok intrusi, maka blok intrusi tersebut harus ditentukan batasnya untuk pembatas *pit* potensial.
- Kondisi geografis : jika pada peta topografi diketahui mengalir suatu sungai yang besar dan secara teknis sungai tersebut tidak dapat dipindahkan, maka dapat dipisahkan menjadi beberapa *pit* potensial.
- Kondisi geologi batubara : jika diidentifikasi adanya ketebalan batubara yang tidak memenuhi syarat seperti tebal  $< 0,5$  m, maka dengan memanfaatkan peta isopach ketebalan dapat digunakan sebagai batas *pit* potensial.
- Kondisi geoteknik : jika diketahui *limit* (batas) ketinggian lereng maksimum, maka ini juga dapat merefleksikan batasan ketebalan *overburden* maksimum.

- Kondisi pembatas lain : misalnya adanya jalan, perkampungan, atau areal lindung, maka dengan memplotkan lokasinya dapat digunakan sebagai batas *pit* potensial.

b. Analisis peta *iso-overburden* :

Dengan memperhatikan pola kontur peta *iso-overburden*, seperti :

- Kontur rapat dan berada di dekat *cropline* batubara, menunjukkan ketebalan *overburden* relatif mempunyai variasi yang besar dan intensif. Kondisi ini dapat disebabkan oleh adanya tinggian / punggung (bukit) di atas lapisan batubara,
- Kontur relatif renggang dan mempunyai pola menjauhi *cropline* batubara. Kondisi ini menguntungkan, karena variasi ketebalan *overburden* relatif mempunyai interval yang lebar.

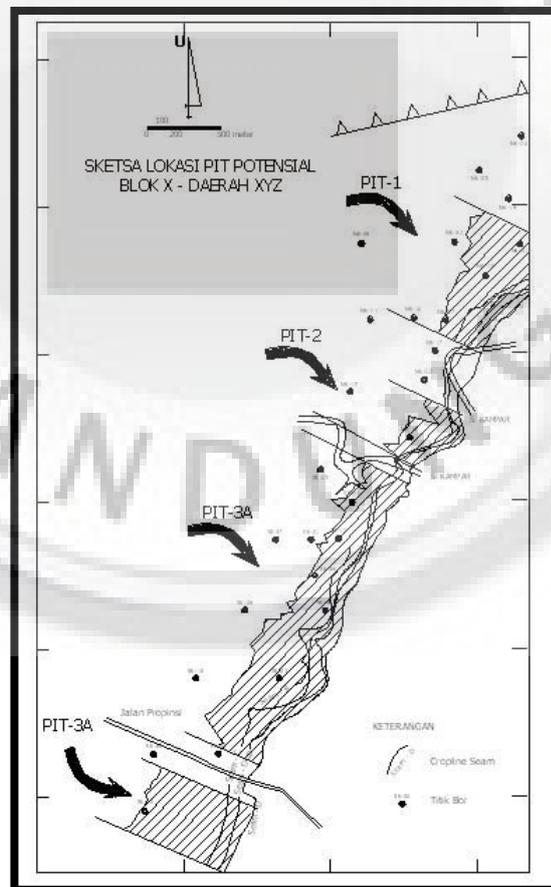
Dengan mengkombinasikan kedua faktor di atas (faktor pembatas dan faktor ketebalan *overburden*), maka dengan cepat lokasi *pit* potensial dapat dilokalisir (ditentukan). Dengan mengetahui lokasi *pit* potensial ini, maka optimasi cadangan batubara dapat dilakukan pada areal yang terbatas, yaitu areal yang telah dapat diprioritaskan. Pada Gambar 3.2 dapat dilihat contoh penentuan lokasi *pit* potensial dengan pendekatan faktor pembatas yang berbeda.

### 3.6 Batas Penambangan (*Pit Limit*)

Batas penambangan (*pit limit*) sangat menentukan jumlah produksi dan umur serta ekonomi suatu perusahaan tambang. Parameter yang

mempengaruhi batas penambangan (*pit limit*) untuk menghitung cadangan tertambang (*mineable*) antara lain :

- a. Nisbah Pengupasan (*Stripping Ratio* = SR), nisbah pengupasan (SR) yang diterapkan dalam perencanaan penambangan batubara dihitung dengan pendekatan *Break Even Stripping Ratio* (BESR).
- b. Geometri Lereng Penambangan, digunakan sebagai batasan perhitungan cadangan tertambang yang ditetapkan berdasarkan hasil penyelidikan geoteknik yang dilakukan di daerah penelitian.
- c. Kondisi Topografi dan Geologi, mempertimbangkan penyebaran cadangan batubara terhadap bentuk alam yang ada.



Sumber : Syafrizal, 2000

**Gambar 3.2**  
**Penentuan dan Pemilihan *Pit* Potensial**

### 3.7 Konsep Nisbah Kupas (*Stripping Ratio*)

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, bahwa ketebalan lapisan batubara dan ketebalan tanah penutup (*overburden*) merupakan faktor utama yang mengontrol kelayakan suatu pembukaan tambang batubara.

Pengetahuan jumlah (kuantitas) batubara dan jumlah batuan penutup yang harus dipindahkan untuk mendapatkan per unit batubara sesuai dengan metoda penambangan merupakan konsep dasar dari Nisbah Kupas (*Stripping Ratio*). Secara umum, *Stripping Ratio* (SR) didefinisikan sebagai perbandingan jumlah volume tanah penutup yang harus dipindahkan untuk mendapatkan satu ton batubara.

Faktor *rank*, kualitas, nilai kalori, dan harga jual menjadi sangat penting dalam perumusan nilai *Stripping Ratio*. Batubara dengan harga jual yang tinggi akan memberikan Nisbah Kupas yang lebih baik daripada batubara dengan harga jual yang rendah.

Dalam pemodelan sumberdaya, faktor ini dapat direfleksikan sebagai dasar untuk perhitungan (penaksiran) jumlah cadangan batubara. Dalam *Geological Survei Circular 891, 1983.*, ada beberapa konsep mendasar yang dapat dipahami, antara lain :

- a. Ketebalan batubara minimum yang dapat diperhitungkan sebagai cadangan :
  - Untuk batubara antrasit dan bituminous : ketebalan minimum adalah 70 cm dengan kedalaman maksimum 300 m.
  - Untuk batubara sub-bituminous : ketebalan minimum adalah 1,5 m dengan kedalaman maksimum 300 m.

- Untuk lignit : ketebalan minimum adalah 1,5 m dengan kedalaman maksimum 150 m.

Kedalaman maksimum ini telah memasukkan pertimbangan jika penambangan diteruskan dengan metoda penambangan bawah tanah.

b. Interval ketebalan *overburden* yang disarankan untuk pelaporan perhitungan cadangan, adalah :

- Tonase batubara dengan ketebalan *overburden* 0 – 30 m,
- Tonase batubara dengan ketebalan *overburden* 30 – 60 m,
- Tonase batubara dengan ketebalan *overburden* 60 – 150 m,

c. *Recovery factor* : suatu angka yang menyatakan perolehan batubara yang dapat ditambang (dengan metoda *strip mining*, *auger mining*, atau *underground mining*) terhadap jumlah cadangan yang telah diperhitungkan sebelumnya.

Konsep-konsep di atas perlu dipahami dengan tujuan konservasi sumberdaya batubara (alam), karena kalau dalam pertimbangan ekonomis hanya dengan memperhatikan *stripping ratio* saja, maka jumlah cadangan yang dapat diekstrak hanya terbatas, sedangkan sebagai *follow-up* perlu dipertimbangkan juga penggunaan metoda *auger-mining*.

Namun secara umum, faktor utama untuk penentuan nilai ekonomis *stripping ratio* ini adalah : jumlah cadangan batubara (*marketable*), volume tanah penutup (BCM), serta umur tambang.

Secara sederhana (*rule of thumb*) penentuan harga *Stripping Ratio* yang masih ekonomis adalah sebagai berikut :

- Perkirakan unit *cost* penambangan untuk penggalian dan pengangkutan batubara ke *stockpile*.
  - Perkirakan unit *cost* transportasi batubara
  - Perkirakan unit *cost* penambangan untuk penggalian dan pengangkutan *overburden* ke *waste dump*.
  - Perkirakan volume tanah penutup, untuk *total cost*.
  - Perkirakan *recoverable reserve*, untuk *total revenue*.
  - Perkirakan harga jual batubara per ton, untuk *total revenue*.
  - Perkirakan biaya investasi dan eksplorasi.
  - Perkirakan biaya lain-lain.
  - Perkirakan umur tambang.
- Maka perbandingan nilai jual batubara terhadap *total cost* harus lebih besar daripada 1 (*revenue > total cost*)

Beberapa parameter ekonomi yang diperlukan untuk penentuan *stripping ratio* yang masih ekonomis (*Break Even Stripping Ratio*), seperti pada Tabel 3.2

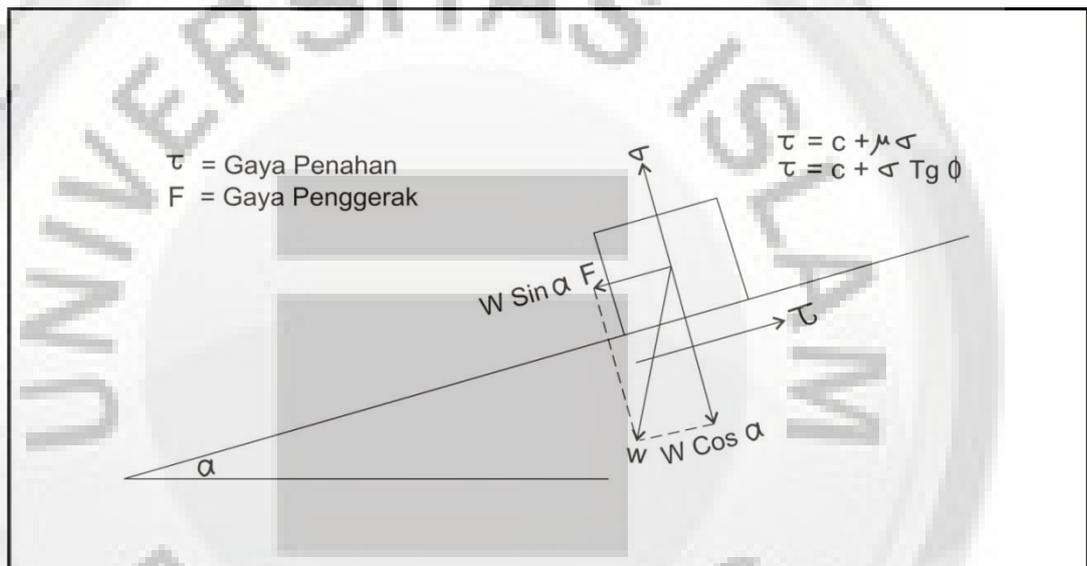
**Tabel 3.2**  
**Parameter Ekonomi Untuk Penentuan *Stripping Ratio* yang Ekonomis (*Break Even Stripping Ratio*)**

<b>Investasi</b>	Biaya eksplorasi, bangunan, pembuatan jalan, peralatan tambang utama, peralatan penunjang, peralatan <i>stockpile</i> , kendaraan.
<b>Upah tenaga kerja</b>	
<b>Biaya produksi batubara</b>	Penambangan batubara, pengupasan tanah penutup, pengangkutan batubara, pengolahan, lingkungan, ganti rugi lahan, royalti.
<b>Harga jual batubara</b>	
<b>Analisis aliran kas : IRR, NPV, dan PBP</b>	

*Sumber : Friedrich-Wilhelm, 1986.*

### 3.8 Kemantapan Lereng

Kemantapan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan (oleh kerja manusia), dipengaruhi oleh beberapa faktor, yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya – gaya penahan dan gaya – gaya penggerak yang menentukan terhadap kemantapan lereng tersebut (Gambar 3.3 )



Sumber: *Rock Slope Engineering*, John Bray and Evert Hoek 1981

Gambar 3.3  
Diagram Gaya Pada Sistem Keseimbangan Benda Pada Bidang Miring

Dalam hal ini :

$\tau$  = kuat geser batuan ( $\text{ton/m}^2$ );

$c$  = kohesi batuan ( $\text{ton/m}^2$ );

$\sigma$  = tegangan normal ( $\text{ton/m}^2$ );

$\phi$  = sudut gesek-dalam (*internal friction angle*).

Dalam keadaan gaya penahan (terhadap longsoran) lebih besar dari gaya penggeraknya, maka lereng tersebut akan berada dalam keadaan yang mantap (stabil). Tetapi apabila gaya penahan menjadi lebih kecil dari gaya penggeraknya, maka lereng tersebut menjadi tidak mantap dan longsoran akan terjadi.

### **3.9 Kondisi Jalan Tambang**

Salah satu sasaran yang penting dalam kelangsungan operasi penambangan terutama dalam pergerakan alat-alat mekanis berupa alat muat, alat angkut dan alat garu adalah kondisi jalan tambang yang digunakan. Jalan tambang yang dimaksud disini adalah jalan angkut yang menghubungkan antara lokasi penggalian dengan lokasi penimbunan. Melihat dari fungsi jalan tambang sebagai jalan angkut utama, maka kondisi jalan tambang perlu diperhatikan untuk kelancaran kegiatan pengangkutan.

#### **a. Lebar Jalan Angkut**

Jalan angkut yang lebar diharapkan dapat membuat pengangkutan lancar dan aman. Lebar jalan harus diperhitungkan dengan cermat. Perhitungan lebar jalan lurus dan belok (tikungan) berbeda, karena pada posisi membelok kendaraan membutuhkan ruang gerak lebih lebar akibat jejak ban depan dan belakang yang ditinggalkan di atas jalan melebar. Disamping itu, perhitungan lebar jalan juga harus memperhatikan jumlah lajur, yaitu lajur tunggal atau lajur ganda.

**b. Lebar Jalan Angkut Pada Jalan Lurus**

Lebar minimum lajur ganda atau lebih, menurut AASHO (*Manual Rural High Way Design*), harus ditambah dengan setengah lebar alat angkut pada bagian kiri dan kanan jalan. Cara sederhana menentukan lebar jalan yaitu menggunakan *rule of thumb* seperti pada Tabel 3.3

**Tabel 3.3**  
**Lebar Jalan Angkut Minimum**

Jumlah Lajur Track	Perhitungan	Lebar Jalan Angkut Min
1	$1 Wt + (2 \times \frac{1}{2}) Wt$	$2 \times Wt$
2	$2 Wt + (3 \times \frac{1}{2}) Wt$	$3,5 \times Wt$
3	$3 Wt + (4 \times \frac{1}{2}) Wt$	$5,0 \times Wt$
4	$4 Wt + (5 \times \frac{1}{2}) Wt$	$6,5 \times Wt$

Sumber : (AASHO *Manual Rural High Way Design*), 1993

Dari kolom perhitungan diatas dapat ditetapkan rumus lebar jalan angkut minimum pada jalan lurus. Seandainya lebar kendaraan dan jumlah lajur yang direncanakan masing-masing adalah  $Wt$  dan  $n$ , maka lebar jalan angkut pada jalan lurus ( Gambar 3.4) dapat dirumuskan sebagai berikut:

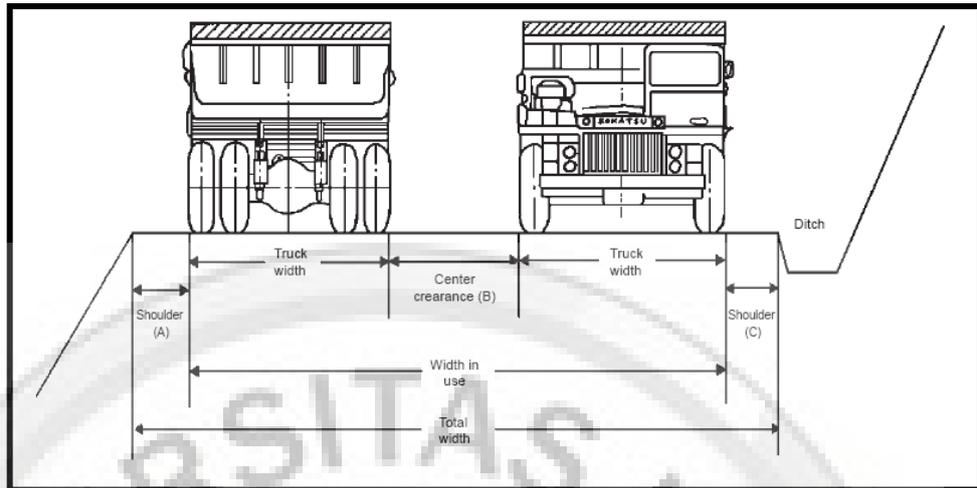
$$L \text{ min} = n \times Wt + (n+1) (1/2 \times Wt)$$

Dalam hal ini :

$L \text{ min}$  = Lebar minimum jalan angkut (meter);

$n$  = Jumlah jalur;

$Wt$  = Lebar alat angkut (meter).



Sumber : Partanto Prodjosumarto , 1993

Gambar 3.4

Lebar Jalan Angkut Dua Lajur Pada Jalan Lurus

**c. Lebar Jalan angkut pada belokan**

Lebar jalan angkut pada tikungan selalu lebih besar dari pada jalan lurus. Untuk jalur ganda, lebar minimum pada tikungan dihitung berdasarkan

- Lebar jejak ban
- Lebar tonjolan alat angkut bagian depan dan belakang pada saat membelok
- Jarak antar alat angkut pada saat bersimpangan
- Jarak alat angkut terhadap tepi jalan

Perhitungan terhadap lebar jalan angkut pada tikungan (Gambar 3.5)

dapat menggunakan rumus :

$$W = n(U+Fa+Fb+Z)+C$$

$$Z = \frac{1}{2} (U+Fa+Fb)$$

Dalam hal ini :

W = Lebar jalan angkut pada tikungan (meter);

n = Jumlah jalur;

U = Jarak jejak roda kendaraan (*center to center tires*) (meter);

Fa = Lebar jantai depan (*overhang*) (meter);

= Jarak as roda depan dengan bagian depan truk x  $\sin \alpha$   
(meter);

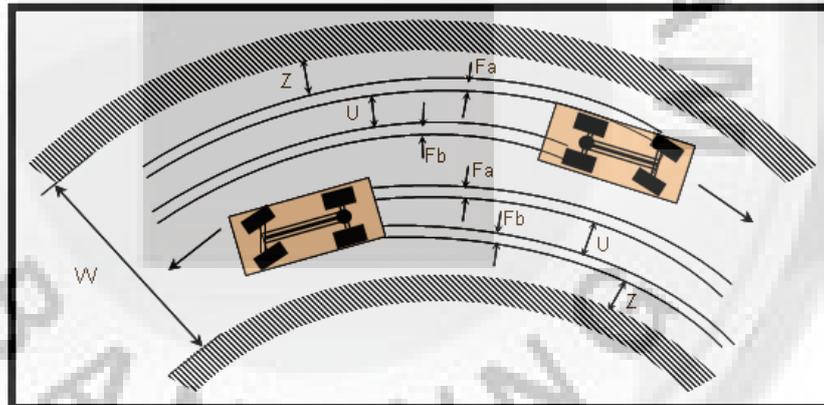
Fb = Lebar jantai belakang (meter);

= Jarak as roda belakang dengan bagian belakang truk x  $\sin \alpha$ ,  
(meter);

$\alpha$  = Sudut penyimpangan roda depan;

C = Jarak bagian tepi jalan (*total lateral clearance*) (meter);

Z = Jarak sisi luar truk ke tepi jalan (meter).



Sumber : Partanto Prodjosumarto, 1993

Gambar 3.5

Lebar Jalan Angkut Dua Lajur Pada Belokan

#### d. Kemiringan Jalan Angkut

Kemiringan jalan berhubungan langsung dengan kemampuan alat angkut baik dalam pengereman maupun dalam mengatasi tanjakan. Kemiringan jalan pada umumnya dinyatakan dalam persen (%). Kemiringan jalan maksimum yang dapat dilalui dengan baik oleh alat angkut truk berkisar antara 10%.