

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Batubara

Batubara adalah akumulasi material organik yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan yang telah melalui proses kompaksi, ubahan kimia dan proses metamorfosis oleh peningkatan panas dan tekanan selama perioda geologis (Menurut Standar Nasional Indonesia 1998). Unsur *inherent* batubara terdiri dari *macerals* dan mineral matter. Komposisi dan perbandingan keduanya mencerminkan susunan dari material asal, dan mengindikasikan tipe batubara. Derajat diagenesa dari *coalification* yang dialami batubara akibat tektonik dan burial menentukan tingkat batubara.

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batubara umumnya dibagi dalam lima kelas: antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut (Oot H.L, 1987).

- a) Antrasit ($C_{94}H_{30}O_3$) adalah kelas batubara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (*luster*) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
- b) Bituminus ($C_{80}H_{50}O_{15}$) mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batubara yang paling banyak ditambang di Australia.

- c) Sub-bituminus ($C_{75}H_{50}O_{20}$) mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
- d) Lignit atau batubara coklat ($C_{70}H_{50}O_{25}$) adalah batubara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
- e) Gambut ($C_{60}H_6O_{34}$), berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

3.2 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 (Maryanto 2013) :

- 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 rekapipta (*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 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.

3.3 Parameter Perancangan Tambang

Suatu perancangan tambang mengacu pada beberapa parameter desain sebagai berikut (Hustrulid, 1995) :

3.3.1 Nisbah Kupas (*Stripping Ratio*)

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 perunit 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. Menurut Hartman (1987) ada beberapa konsep mendasar yang dapat dipahami, antara lain :

a) Ketebalan batubara minimum yang dapat diperhitungkan sebagai cadangan :

- Untuk batubara antrasit & 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 dari *stock pile* sampai ke pelabuhan.
- Perkirakan *unit cost* penambangan untuk penggalian dan pengangkutan *overburden* ke *waste dump*.

- Perkirakan volume tanah penutup, untuk *totalcost*.
- 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 ($revenue > total\ cost$).

3.3.2 Penentuandan Pemilihan PIT Potensial

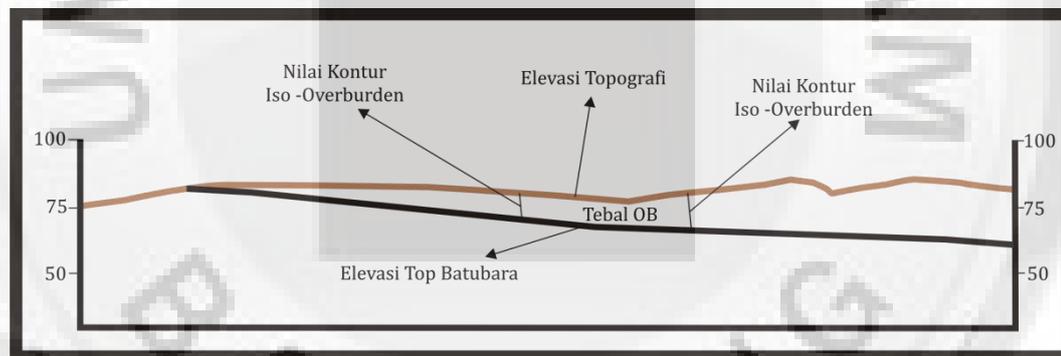
Penentuan *pit* potensial ini diperlukan untuk dapat memperkirakan/memprediksi suatu areal sumberdaya batubara yang potensial untuk nantinya akan dikembangkan menjadi suatu lokasi *pit* penambangan.

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

- Peta topografi : untuk mengetahui (melihat) variasi topografi (terutama daerah tinggian – lembah).
- Peta geologi lokal : untuk mengetahui variasi litologi, pola sebaran dan kemenerusan lapisan batubara, serta pola struktur geologi.
- 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.

- 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*. Peta *iso-overburden* secara umum (gamblang) dapat menggambarkan (merefleksikan) kondisi sebaran batubara terhadap variasi topografi pada areal tertentu.



Sumber : Maryanto, 2013

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 $t < 0,5$ 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* :

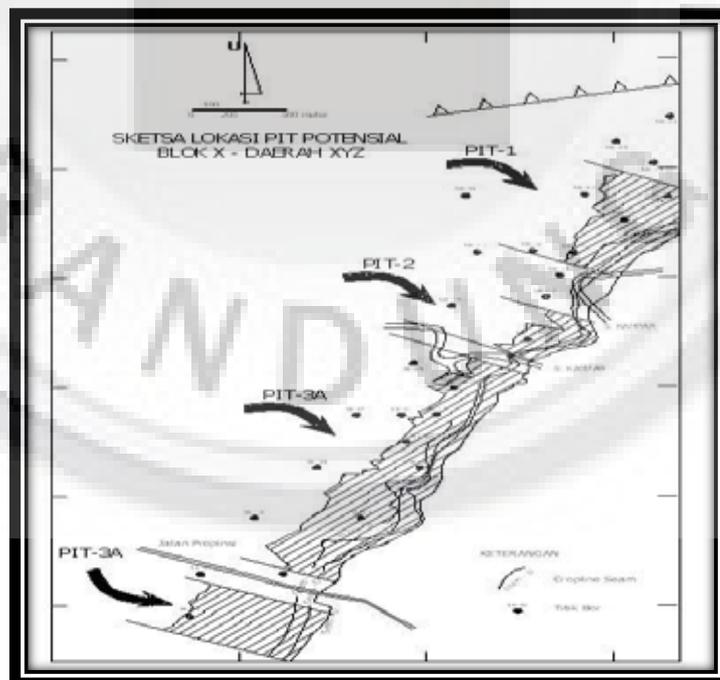
Dengan memperhatikan pola kontur peta *iso-overburden*, seperti :

1. Kontur rapat dan berada di dekat *cropline* batubara, menunjukkan ketebalan *overburden* relatif mempunyai variasi yang besar dan

intensif. Kondisi ini dapat disebabkan oleh adanya ketinggian / punggung (bukit) di atas lapisan batubara,

2. 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 area yang terbatas, yaitu area yang telah dapat diprioritaskan. Pada Gambar 3.2 dapat dilihat contoh penentuan lokasi *pit* potensial dengan pendekatan faktor pembatas yang berbeda.



Sumber : Maryanto, 2013

Gambar 3.2
Penentuan dan Pemilihan Pit Potensial

3.3.3 Kemantapan Lereng

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

Dalam keadaan gaya penahan (terhadap longsor) 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 longsor akan terjadi.

Sebenarnya, longsor tersebut merupakan suatu proses alam untuk mendapatkan kondisi kemantapan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggeraknya.

Kemantapan suatu lereng dinyatakan dengan faktor keamanan (*safety factor*), yang merupakan perbandingan antara besarnya gaya penahan dengan gaya penggerak longsor dan dinyatakan sebagai berikut:

Didalam kajian geoteknik untuk perancangan tambang, terdapat beberapa geometri rancangan yang harus sesuai dengan rekomendasi geoteknik (Bray, 1981) yaitu :

- a) Tinggi Jenjang, yaitu maksimum tinggi dari jenjang yang diperbolehkan untuk didesain sesuai dengan hasil kajian geoteknik sehingga jenjang menjadi stabil/aman.
- b) 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.

- c) Lebar *berm*, yaitu jarak antara kaki jenjang atas (*toe*) dengan kepala jenjang bawah (*crest*) yang didesain pada elevasi yang sama.
- d) Tinggi lereng keseluruhan (*overall benchheight*), adalah tinggi total dari jenjang dari permukaan topografi sampai kedalaman terbawah dari desain tambang (*pit bottom*).
- e) Kemiringan lereng keseluruhan (*overall slope*), adalah sudut total dari jenjang sampai kedalaman terbawah dari desain tambang (*pit bottom*).
- f) RAMP (*Road Access Mining Road*), adalah jalan yang digunakan di dalam daerah pit penambangan (*bench*) dan akan digunakan sesuai dengan kemajuan tambang.
 - Lebar RAMP, didesain berdasarkan perhitungan geometri jalan sebagai berikut :

$$L_{min} = n \cdot W_t + (n+1) \left(\frac{1}{2} W_t \right)$$

Keterangan :

L_{min} = Lebar Minimum Jalan Tambang (RAMP)

n = Jumlah *Dump Truck*, unit

W_t = Lebar *Dump Truck*, meter

- Kemiringan Ramp (*Grade*)

Grade adalah tanjakan dari jalan angkut, kelandaian atau kecuramannya sangat mempengaruhi produksi (*output*) alat angkut, sebab adanya kemiringan jalan (*grade*) menimbulkan tahanan tanjakan (*grade resistance*) yang harus diatasi oleh mesin alat angkut.

- Kemiringan jalan pada tikungan (*super elevasi*)

Super elevasi merupakan kemiringan jalan pada tikungan yang terbentuk oleh batas antara tepi jalan terluar dengan tepi jalan terdalam karena perbedaan ketinggian. Menurut Partanto (1993) pada kondisi jalan yang kering, nilai super elevasi merupakan harga maksimum 90 mm/m sedangkan kondisi jalan yang penuh lumpur atau licin nilai super elevasi terbesar 60 mm/m.

- Kemiringan jalan angkut

Kemiringan atau *grade* jalan angkut berhubungan langsung dengan kemampuan alat angkut, baik dari pengereman maupun dalam mengatasi tanjakan. Kemiringan jalan angkut biasanya dinyatakan dalam persen (%). Dalam pengertiannya, kemiringan (α) 1 % berarti jalan tersebut naik atau turun 1 meter atau 1 ft untuk setiap jarak mendatar sebesar 100 meter atau 100 ft. Kemiringan jalan angkut menurut Hoek (1981) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Grade (\alpha) = \frac{\Delta h}{\Delta x} (100\%)$$

Keterangan :

Δh : beda tinggi antara dua titik yang diukur.

Δx : jarak datar antara dua titik yang diukur.

Secara umum kemiringan jalan maksimum yang dapat dilalui dengan baik oleh alat angkut besarnya berkisar antara 18 % - 10 %. Akan tetapi untuk jalan naik maupun turun pada bukit lebih aman kemiringan jalan maksimum sebesar 8 % atau $4,5^\circ$.

3.4 Penentuan Cadangan Tertambang

Dalam penentuan cadangan tertambang hampir tidak mungkin akan diperoleh cadangan tertambang 100% dari cadangan insitu, dimana akan terjadi *dilution* sepanjang tahap penambangan. Sebelum mulai menghitung suatu nilai cadangan tertambang, maka ada 2 (dua) faktor utama yang harus dikuantifikasi, yaitu faktor pembatas cadangan dan Faktor *Losses*.

a. Faktor-faktor pembatas suatu cadangan :

- Minimum ketebalan lapisan batubara, hal ini berhubungan dengan teknik penambangan dan *stripping ratio*.
- Maksimum ketebalan tanah penutup, hal ini berhubungan dengan nilai *stripping ratio*.
- Maksimum *stripping ratio*, hal ini berhubungan dengan nilai atau tingkat kelayakan penambangan.
- Maksimum kemiringan lapisan batubara, hal ini akan berhubungan dengan teknologi penambangan dan nilai *stripping ratio*.

- Minimum (%) *yield* proses untuk mendapatkan batubara bersih, yaitu kalau diperkirakan akan dilakukan proses pencucian.
- Maksimum kandungan abu, yaitu sesuai dengan standar pasar yang akan dimasuki.
- Maksimum kandungan sulfur, yaitu sesuai dengan standar pasar yang akan dimasuki.
- Batasan geografis, yaitu berhubungan dengan batasan-batasan alam yang harus diperhatikan, seperti adanya sungai besar, daerah konservasi alam, atau adanya jalan negara, atau adanya suatu area tertentu yang tidak mungkin dipindahkan.
- Batasangeologi, yaitu berhubungan dengan batasan-batasan geologi, seperti adanya sesar, intrusi, dll.

b. Faktor *Losses*

Faktor *losses* yaitu faktor-faktor kehilangan cadangan akibat tingkat keyakinan geologi maupun akibat teknis penambangan. Beberapa faktor *losses* adalah :

- *Geological Losses*, yaitu faktor kehilangan akibat adanya variasi ketebalan, *parting*, maupun pada saat pengkorelasian lapisan batubara.
- *Mining Losses*, yaitu faktor kehilangan akibat teknis penambangan, seperti faktor alat, faktor *safety*, dll.

- *Processing Losses*, yaitu faktor kehilangan (*recovery yield*) akibat diterapkannya metoda pencucian batubara atau kehilangan pada proses lanjut di *Stockpile*.

Faktor-faktor pembatas pada umumnya sudah cukup jelas. Dalam penerapannya, faktor-faktor pembatas tersebut akan menjadi *pit limit* dalam panambangan.

Sedangkan faktor-faktor *losses* diterapkan pada saat proses perhitungan cadangan, dan dapat dikuantifikasi besar nilai *losses* tersebut. Berikut akan diuraikan contoh cara pengkuantifikasian faktor *losses* tersebut.

a) *Geological Losses*

Biasanya untuk kemudahan, langsung diambil nilai umum yaitu 5 – 10%. Namun dapat juga dengan memperhatikan pola variasi ketebalan batubara, yaitu dengan bantuan analisis statistik. Parameter statistik yang dapat digunakan adalah : standard deviasi, koefisien variasi, atau *standard error*.

b) *Mining Losses*

Secara umum, untuk metoda *strip mining* digunakan *mining losses* sebesar 10%, sedangkan untuk tambang bawah tanah digunakan *mining losses* sebesar 40-50% yaitu (metoda *Long Wall* mempunyai *Recovery* 60-70%, metoda *Room & Pillar* mempunyai *Recovery* 50-60%), untuk *auger mining* digunakan *mining losses* sebesar 60-70% (atau *Recovery* 30-40% sesuai dengan spesifikasi perlatannya). Untuk

metoda *Strip Mining (open pit)*, kadang-kadang juga digunakan pendekatan ketebalan lapisan yang akan ditinggalkan, yaitu 10 cm pada *roof* dan 10 cm pada *floor*. Jika ketebalan lapisan hanya 1 m, maka *Mining Losses* = 20%, sedangkan jika ketebalan lapisan adalah 2 m maka *Mining Losses* = 10%, dan jika ketebalan lapisan adalah 5 m maka *Mining Losses* = 4%. *Processing Losses*, sangat tergantung pada hasil uji ketercucian (*washability test*), dimana harga perolehan (*yield*) ditentukan dari hasil uji tersebut.

3.5 Optimasi Cadangan Tertambang

Optimasi cadangan berdasarkan *Stripping Ratio*

- a) Optimasi berdasarkan *series* penampang, yaitu dengan mengoptimasi *stripping ratio* masing-masing penampang, maupun kumulatif *stripping ratio* keseluruhan areal.
- b) Optimasi berdasarkan elevasi batubara (blok), yaitu dengan menghitung *stripping ratio* dengan lebar blok tertentu searah jurus perlapisan batubara dan lebar tertentu ke arah *dipping* dengan menggunakan interval elevasi kontur struktur batubara.

Optimasi cadangan berdasarkan Kualitas

- a) Faktor pembobotan tonase, yaitu dengan memasukkan pembobotan tonase pada range kualitas tertentu sehingga dapat dioptimalkan tonase cadangan sesuai dengan syarat minimal yang ditargetkan.

- b) Optimasi berdasarkan *series* penampang, yaitu mengelompokkan *series* perhitungan penampang dengan minimum kualitas, disini biasanya digunakan peta iso-kualitas sebagai faktor pembatasnya.
- c) Optimasi berdasarkan elevasi batubara (blok), yaitu dengan melakukan penaksiran harga kualitas pada masing-masing blok yang telah disusun, sehingga nantinya juga akan dilakukan optimasi berdasarkan pembobotan tonase.

