

## Optimasi Pit Tambang Terbuka Batubara dengan Pendekatan *Incremental Pit Expansion*, BESR dan *Profit Margin*

Akhmad Rifandy <sup>1</sup>, Syamsidar Sutan M.P <sup>2</sup>

### ABSTRAK

Optimasi pit adalah usaha untuk menentukan batas tambang terbaik (*ultimate pit limit*) dan menentukan cadangan optimum yang memberikan *Profit Margin* terbaik.. Metode yang sering diterapkan dalam optimasi pit adalah *metoda Learch-Grossman*, kerucut mengambang (*floating/moving cone*), dan metoda penambahan ekspansi pit (*incremental pit expansion*), Metoda *Learch-Grossman* dan kerucut mengambang (*floating/moving cone*) lebih sering diterapkan pada tambang bijih, sementara optimasi pit pada tambang terbuka batubara secara praktis menerapkan metoda penambahan ekspansi pit (*incremental pit expansion*). Konsep dari *incremental pit expansion* adalah dengan menerapkan metoda *trial and error*.

Optimasi pit tidak mudah dilakukan dan memerlukan waktu. Makalah ini akan membahas bagaimana melakukan optimasi pit untuk menentukan batas tambang terbaik dengan harapan dapat membantu mempermudah, mempercepat, dan memahami parameter kunci yang berpengaruh dalam usaha optimasi pit. Model geologi sumberdaya batubara dan model ekonomi merupakan dua variabel penting dalam optimasi pit. Tulisan ini akan mengembangkan model optimasi pit dengan filosofi metoda penambahan ekspansi pit yang memberikan *Profit Margin* terbaik.

Berdasarkan solusi dari formulasi dapat disimpulkan, bahwa parameter kunci yang berpengaruh terhadap penentuan batas tambang terbaik tambang Terbuka batubara adalah (1) biaya pemindahan material penutup (*over burden*) per bcm, (2) biaya penambangan batubara (coal mining) per ton yang mana kedua hal tersebut masuk dalam parameter operasi tambang, dan (3) harga jual batubara (coal price) per ton yang masuk dalam parameter faktor eksternal/pasar,. Selain ke tiga biaya-biaya diatas, biaya lain tidak berpengaruh dalam penentuan batas tambang terbaik tambang terbuka batubara, tetapi hanya berpengaruh pada besaran *Profit Margin*.

**Kata Kunci :** Optimasi pit, tambang terbuka batubara *incremental pit expansion*, BESR

## 1. Pendahuluan

Endapan batubara dan mineral bijih memiliki karakteristik geologis yang berbeda. Endapan batubara terpisah dari material non batubara dan umumnya memiliki homogenitas kualitas yang tinggi dalam satu seam batubara, Endapan mineral bijih biasanya tersebar (*disseminated*). homogenitas rendah, dan kadar yang kecil : prosentase atau ppm. Dengan karakteristik geologis tersebut, kesalahan dalam pemodelan geologi, estimasi cadangan, dan penilaian cadangan, tambang batubara memiliki resiko ekonomi yang lebih rendah dibandingkan dengan tambang bijih.

Metode optimasi pit yang secara praktis digunakan dalam tambang terbuka batubara adalah *incremental pit expansion*. Metode tersebut dilakukan dengan metoda *trial and error* yaitu dengan melakukan simulasi dan iterasi untuk menghitung keuntungan pada beberapa skenario skala produksi atau *stripping ratio*.

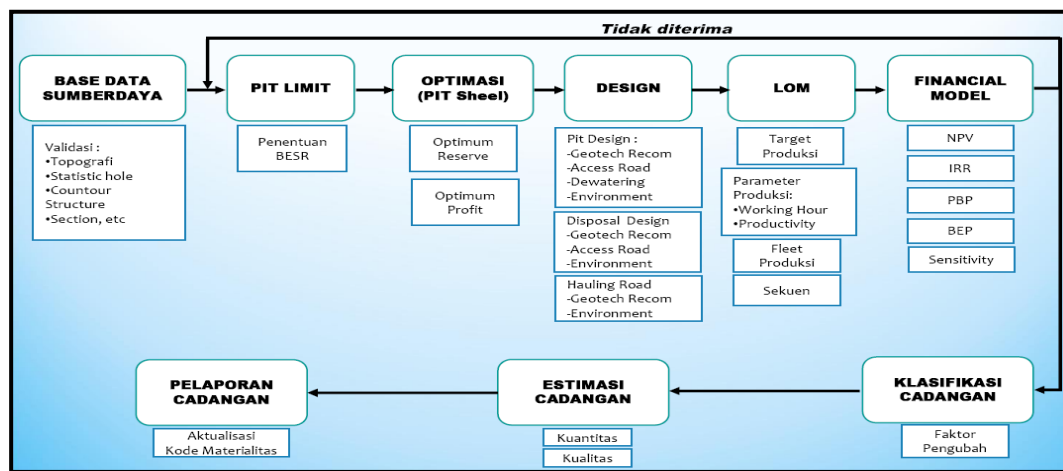
Metode tersebut di atas bisa tidak. dapat mengetahui titik optimal yang sebenarnya. Proses yang dilakukan juga cukup panjang, yaitu dan pembuatan blok, menentukan batas tambang pada beberapa besaran *stripping ratio*, estimasi cadangan (*reserves*), dan perhitungan keuntungan marginal. Pada tambang batubara *multi-mine operation*, dan *multi pit*, dengan metode tersebut menjadi "cukup melelahkan"

Perubahan parameter seperti harga jual batubara dan biaya-biaya tambang sering terjadi dengan signifikan. Hal tersebut cukup dilematis dan tidak mudah untuk melakukan evaluasi batas tambang. Mengetahui parameter teknis dan ekonomis serta hubungan perilaku parameter terhadap optimasi pit akan menjadi kontribusi bagi perbaikan pada metode yang selama ini diharapkan lebih sederhana, cepat, akurat dan mudah

## 2. Proses Perencanaan Tambang

Perencanaan tambang terdiri dari 3 (tiga) tahapan. yaitu tahap pemodelan geologi. perencanaan jangka panjang (*long-term planning*) dan perencanaan jangka pendek (*short-term planning*) [Barber & Hanna. 2000]. Geologi merupakan dasar bagi perencanaan tambang, dalam hal pemodelan sumberdaya. data geoteknik. data hidrogeologi dan reklamasi. Perencanaan jangka panjang sering diarahkan pada *strategic planning* atau *feasibility Study*. Perencanaan jangka pendek, yaitu perencanaan operasional untuk mencapai perencanaan yang telah ditetapkan pada perencanaan jangka panjang. Perencanaan tambang sangat berkaitan erat dalam proses estimasi cadangan, dimana merupakan proses yang melingkar atau iterasi (Gambar 1). Setelah model geologi sumberdaya batubara/mineral dibangun. maka kemudian dilakukan pembuatan model blok, Pembuatan model blok merupakan tahapan membagi area sumberdaya dalam blok-blok yang lebih kecil. Pada sumberdaya batubara biasanya dengan ukuran 100 meter x 100 meter. 50 meter x 50 meter. atau disesuaikan dengan rencana penjadwalan produksi dan alat-alat tambang yang digunakan. Berdasarkan model blok tersebut secara numerik sumberdaya dapat diestimasi jumlahnya. Tahap berikutnya adalah optimasi pit dengan pertimbangan faktor teknis penambangan: sudut lereng tambang aman, jenjang, dan kondisi lokal, pertimbangan faktor ekonomi: harga jual komoditas tambang, biaya-biaya tambang,

kewajiban finansial perusahaan tambang terhadap pemerintah, Faktor lingkungan, infrastruktur, pengolahan, hukum, sosial. Optimasi pit adalah untuk menentukan batas tambang akhir (*ultimate pit limit*), dimana batas tambang tersebut akan digunakan sebagai batas keruangan dalam estimasi cadangan tertambang, Setelah cadangan tertambang diketahui. maka tahap selanjutnya adalah perencanaan produksi, yaitu berupa aktivitas perencanaan pentahapan tambang (*push back*), sekuen tambang. dan penjadwalan produksi tambang Tahap terakhir proses perencanaan tambang adalah penilaian cadangan dengan menentukan indikator ekonomi (*Financial/ economic model*) seperti nilai sekarang bersih (*net present value*. NPV). *internal rate of return* (IRR). dan *pay back period*.



Gambar 1. Diagram Proses Estimasi Cadangan

### 3. Pemodelan Optimasi Pit Tambang Terbuka Batubara

#### Definisi dan Notasi

- P = keuntungan (profit)
- R = penerimaan (revenue)
- NPV = nilai sekarang bersih (*net present value*)
- D = depresiasi dan amortisasi
- I = investasi
- VC = biaya-biaya variabel (*variabel costs*)
- TC = biaya total (*total cost*)
- W = volume material penutup (*overburden*) yang harus dipindahkan, (bcm)
- C = tonase batubara tertambang, (ton)
- SR = nisbah pengupasan (*stripping ratio*)
- SR<sub>1</sub> = nisbah pengupasan inkremen atau marjinal (*incremental stripping ratio*)
- MR = penerimaan marjinal (*marginal revenue*)
- MC = biaya marjinal (*marginal cost*)
- s = harga jual batubara (fob), \$/ton tergantung kualitas batubara
- c = biaya variabel penambangan batubara. \$/ton (*coal mining, hauling, Coal stockpiling, coal preparation & shipping*)

---

w	= biaya variabel pemindahan material penutup ( <i>over burden</i> ), \$/BCM ( <i>drilling &amp; blasting, penanganan top soil OB removal</i> )
f	= biaya tetap ( <i>fixed cost</i> ) (G & A). \$
x	= iuran produksi ( <i>coal sharing</i> )
y	= pajak badan ( <i>corporate tax</i> )
$\beta$	= sudut lereng tambang aman
N	= umur tambang

### Deskripsi Permasalahan

Penentuan batas tambang dapat dilakukan dengan pendekatan manual, komputerisasi, dan kombinasi ke dua pendekatan tersebut. Pemodelan geologi batubara di Indonesia kebanyakan menggunakan perangkat lunak *Stratmodel* dan desain tambang menggunakan *Open Cut* bagian dari aplikasi *Minescape*. Perangkat lunak tersebut belum memperlengkapi dengan aplikasi optimasi pit (perspektif ekonomi) secara baik. Basis data model geologi yang disusun dalam *Stratmodel* tidak *compatible* dengan aplikasi perangkat lunak optimasi pit lain, seperti *Minex Maximiser*.

Dengan realitas tersebut, optimasi pit sebagai usaha menentukan batas tambang akhir secara manual lebih efisien untuk diterapkan daripada harus menyusun ulang basis data model geologi pada perangkat lunak yang menyediakan optimasi pit. Pendekatan manual tersebut untuk menjembatani antara model geologi batubara dan desain tambang-perencanaan produksi yang dilakukan secara komputerisasi.

Pendekatan manual selama ini bersifat *trial and error* dengan mengacu pada filosofi *incremental pit expansion*. Penambahan ekspansi pit yang akan menghasilkan keuntungan optimal:

- apakah bisa tidak dilakukan dengan metode *trial and error* dalam menentukan batas tambang akhir? dan
- pada kondisi yang bagaimana?

Pada makalah ini akan menurunkan secara matematis optimasi pit dengan mengacu pada filosofi *incremental pit expansion*, BESR dan *Profit Margin* sebagai dasar dalam menentukan batas tambang akhir (*ultimate pit limit*) dan estimasi cadangan.

### Perilaku Biaya Tambang

Perilaku biaya tambang adalah perubahan biaya tambang akibat adanya perubahan volume aktivitas produksi bahan tambang. Perilaku biaya tambang dalam hubungannya dengan perubahan volume aktivitas produksi bahan tambang dapat dibagi ke dalam tiga kategori: (1) biaya tetap (*fixed cost, f*). (2) biaya variabel (*variable cost, VC*) dan (3) biaya *step variable*. Biaya tetap adalah biaya yang jumlah total biaya tetap dalam kisaran tertentu pada perubahan volume aktivitas. Biaya variabel adalah biaya yang jumlah total biaya berubah sebanding dengan perubahan volume aktivitas produksi bahan tambang. Biaya *step variable* adalah biaya yang

jumlah total biaya berubah dengan jarak waktu tertentu karena perubahan volume aktivitas.

Hubungan biaya-biaya tersebut dalam bentuk biaya total (*total cost*, TC) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$TC = VC + f \dots\dots\dots (1)$$

Jika *variabel cost* (VC). terdiri dari biaya pemindahan batuan penutup dan penambangan batubara, maka Pers. 1 dapat dituliskan menjadi,

$$TC = (wW + cC + f) \dots\dots\dots (2)$$

Penerimaan (*revenue*, R) merupakan perkalian antara tonase produksi batubara (C) yang terjual dan harga jual bahan tambang perunit (s), dapat dirumuskan sebagai berikut :

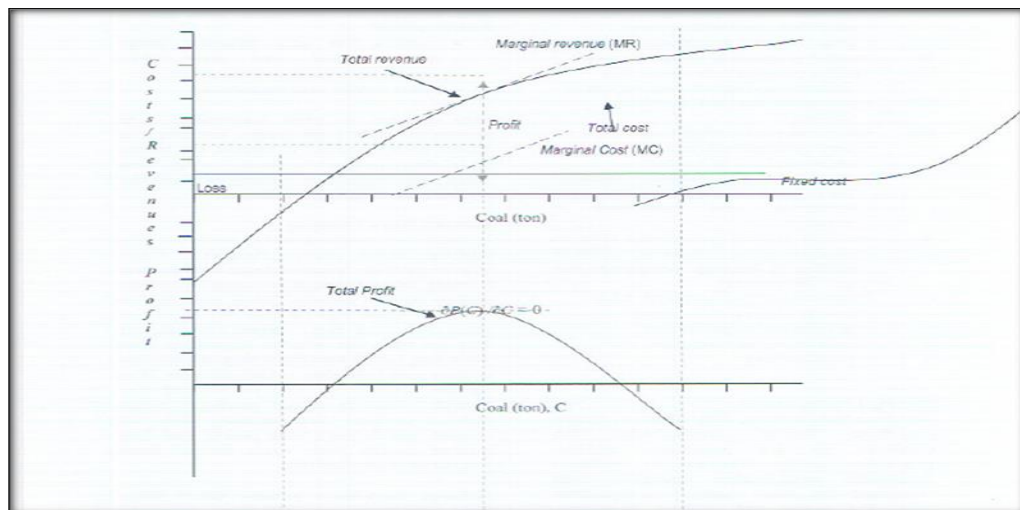
$$R = sC \dots\dots\dots (3)$$

Keuntungan (*profit*, P) didapat dari *revenue* dikurangi dengan *total cost* (TC), berdasarkan Persamaan 2 & 3 dapat diturunkan rumus keuntungan,

$$P = R - TC$$

$$P = Sc - (wW + cC + f) \dots\dots\dots (4)$$

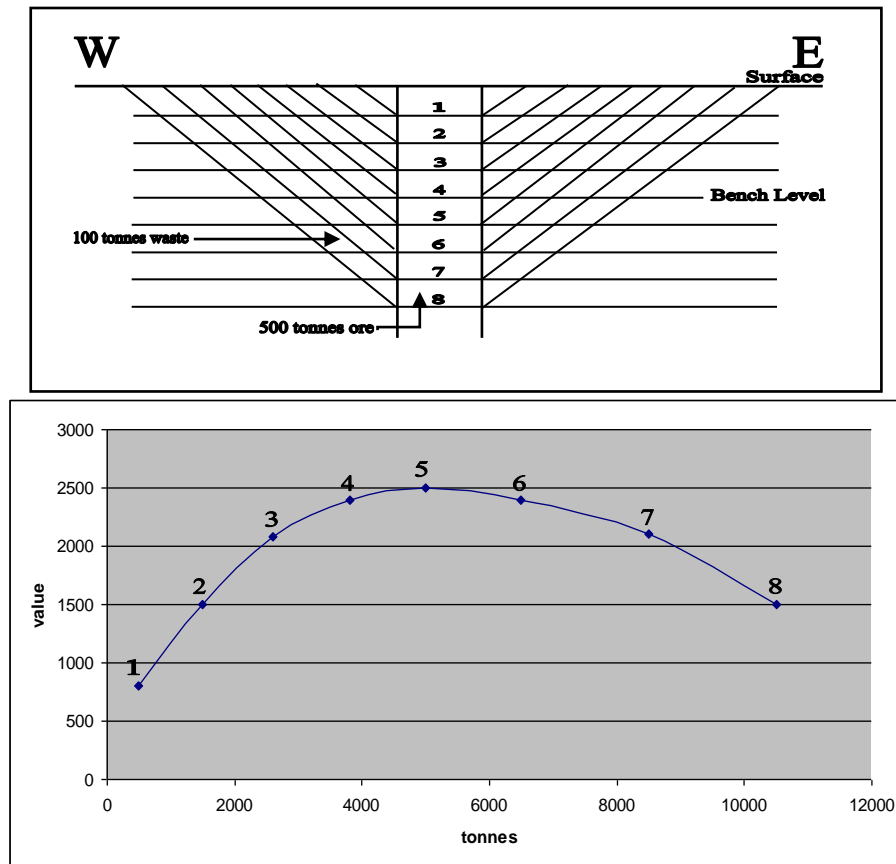
Prilaku hubungan biaya-biaya tambang, *revenue* dan *profit* dapat dilihat pada ilustrasi grafis Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Grafis Konsep Biaya Tambang, *Revenue*, *Profit*, Dan Optimasi

**Optimasi Pit**

Optimasi pit adalah usaha menambah blok dengan besar *slope* tertentu untuk mencari sampai keuntungan akan berada pada titik optimal (White, dalam Kennedy,1990). Whittle (dalam Kennedy,1990) memberikan contoh sederhana optimasi pit, dimana topografi datar, kadar homogeny dengan bentuk empat persegi panjang dan tubuh bahan tambang penyebaran vertical (Gambar 3a). ilustrasi hubungan perubahan blok dan *slope* dan perhitungan nilai keuntungan dapat dilihat pada Gambar 3.b



Gambar 3 (a). Tubuh endapan cebakan sederhana (b). Hubungan antara tonase dan nilai blok dari setiap bentuk pit (Whittle dalam Kennedy, 1990).

Pada ilustrasi gambar di atas, optimasi pit terjadi pada titik 5 dengan batas tambang pada level elevasi blok 5. Secara verbal, optimasi keuntungan atau produksi (C) akan memberikan keuntungan atau selisih *revenue* (R) dan *total cost* (TC) paling optimal. Fungsi penerimaan didefinisikan  $R = R(C)$  dan fungsi biaya total,  $TC = TC(C)$ , maka fungsi keuntungan,  $P(C)$  dapat dirumuskan suatu fungsi akan optimal, jika  $\partial P / \partial C = 0$ ,

$$\begin{aligned} \partial P(C) / \partial C &= 0 \\ &= \partial R(C) / \partial C - \partial TC(C) / \partial C = 0 \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

Keluaran akan optimum atau keluaran kesetimbangan pada kondisi,

$$\partial R(C) / \partial C = \partial TC(C) / \partial C$$

Atau *marginal revenue* (MR) sama dengan *marginal cost* (MC),

$$MR = MC \dots\dots\dots (7)$$

Kondisi optimum akan maksimal, jika,

$$\partial^2 P(C) / \partial C^2 < 0 \dots\dots\dots (8)$$

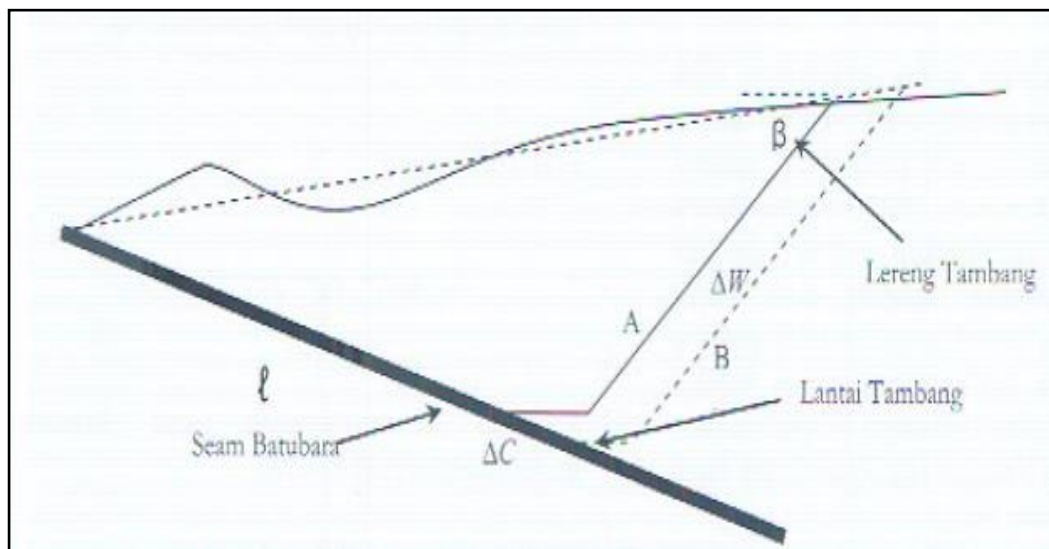
Jika dan hanya jika,

$$\partial^2 R(C) / \partial C^2, \partial^2 TC(C) / \partial C^2 \dots\dots\dots (9)$$

**Model Optimasi Pit Tambang Terbuka Batubara**

Optimasi pit dengan pendekatan filosofi *incremental pit expansion* adalah menambah blok dari batas tambang A menjadi batas tambang B, penambahan batubara sebesar  $\Delta W$  akan diperoleh penambahan batubara sebesar  $\Delta C$  (lihat Gambar 4).

Batas tambang A akan menghasilkan nilai *Profit Margin<sub>A</sub>* sedangkan pada batas tambang B akan menghasilkan *Profit Margin<sub>B</sub>* nilai *Profit Margin* ditentukan dari *cost parameters*.



Gambar 4. Penampang Melintang Desain Tambang.

**4. Penerapan**

Suatu area pit tambang terbuka batubara, dalam perencanaan tambang akan dibagi dalam *block* dan *strip*. Pada umumnya *block* berarah relatif tegak lurus jurus kemiringan perlapisan batubara. sedangkan *strip* relatif sejajar jurus kemiringan perlapisan batubara. Gambaran *block* dan *strip* dapat dilihat pada Gambar 5. Pada masing masing *block-strip* akan memiliki informasi nilai. berupa volume material penutup, tonase batubara, nisbah pengupasan (inkremen). dan kualitas batubara. Nisbah pengupasan inkremen (*incremental stripping ratio*) pada suatu *block strip* dapat dituliskan :

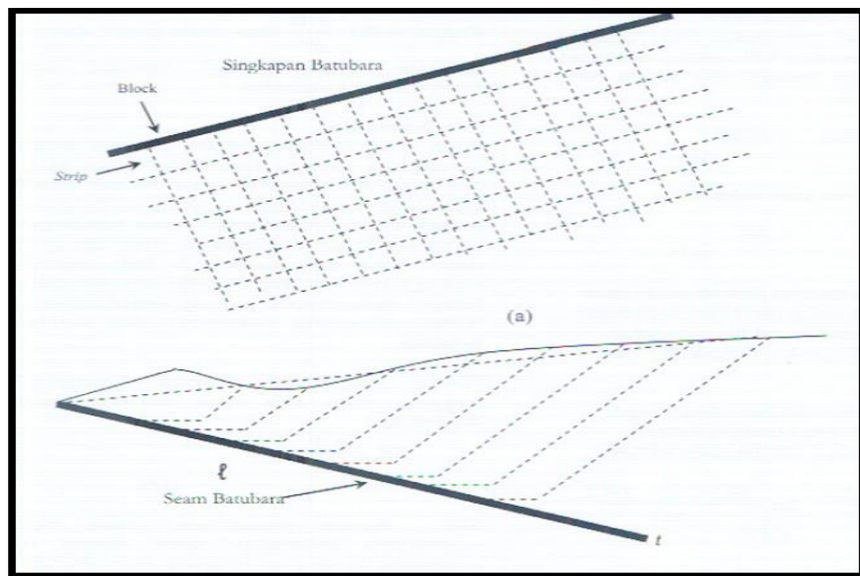
$$SR_1 = \frac{\Delta W}{\Delta C} \dots\dots\dots (10)$$

$SR_1$  dimana penambahan selisih blok mcemberikan keuntungan sama dengan 0. dinamakan *break even stripping ratio* (BESR). Pada kondisi titik tersebut akan rnenghasilkan keuntungan atau nilai sekarang bersih - optimal. Dengan dernikian. suatu *block-strip* yang menjadi batas tambang, merupakan *block-strip* yang

menhasilkan selisih *profit margin* sama dengan 0, yaitu pada kondisi *blok-strip* yang bernilai.

$$BESR = \left( \frac{(1-x)s-c}{w} \right) \dots\dots\dots (11)$$

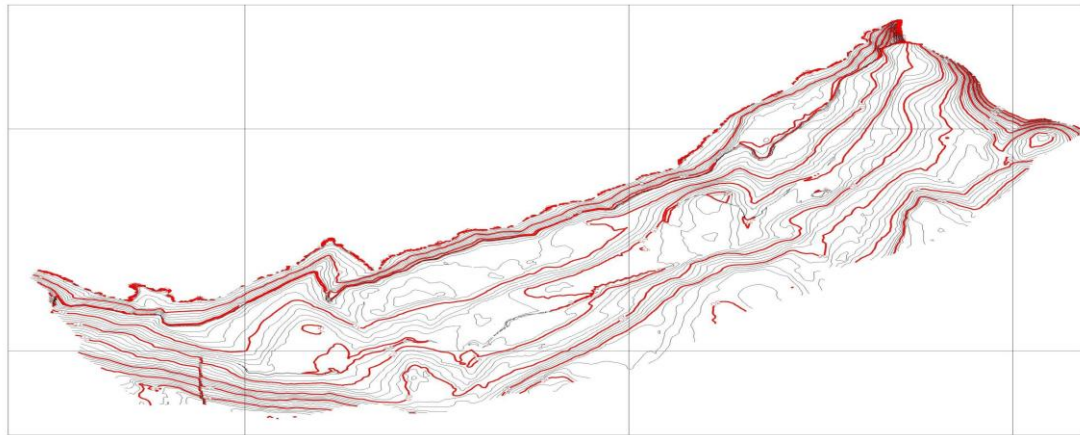
Nilai BESR Pers. 11 tersebut adalah sudah dengan memperhitungkan model aliran kas. Pada suatu tahun ke *i*, jika nilai parameter berubah. maka nilai BESR akan berubah dan batas tambang akan bergeser. Batas tambang bergeser. maka cadangan tertambang akan berubah pula. Cadangan tertambang berubah. maka sekuen dan penjadwalan produksi bisa akan berubah.



Gambar 5 (a) kenampakan block dan strip horizontal, (b) penampang melintang suatu block dan strip-nya dengan memperhitungkan lereng tambang dan lantai tambang.

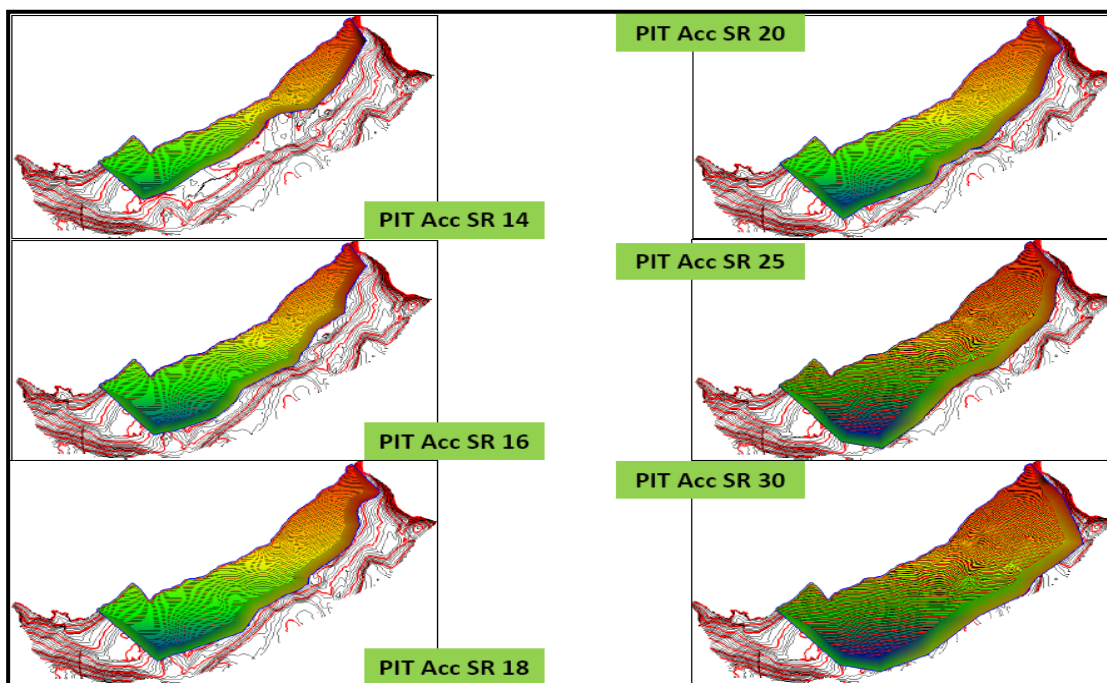
Berikut akan diberikan hitungan dan penentuan batas tambang pada contoh ilustrasi sederhana model block-strip dan pit optimasi berikut besar nisbah kupas





Gambar 6. Contoh Kontur Total Oratio (Accumulative SR)

Strip	Blok			Singkapan Batubara
	1	2	3	
1	15(30)	10(30)	5(30)	
2	19(30)	15(30)	10(30)	
3	22(30)	19(30)	15(30)	
4	24.37(10)	22(30)	19(30)	
5	26.63(10)	24.37(20)	22(30)	
6	30(10)	26.63(20)	24.37(30)	



Gambar 8. Contoh Optimasi Pit

Inkremen dan tonase batubara didalam kurung (dalam ribuan).diberikan parameter model seperti Tabel 1.

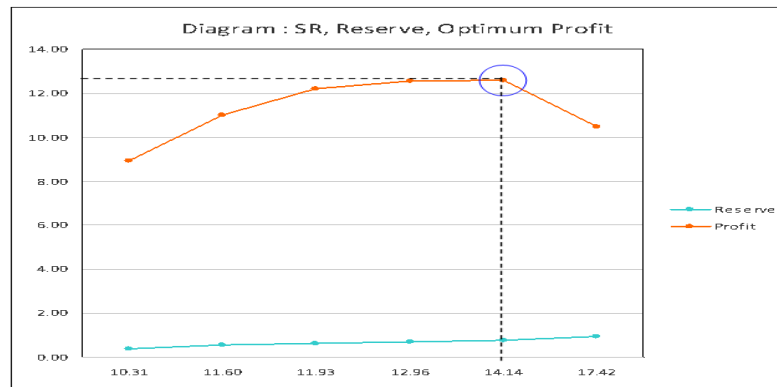
Tabel 1. Parameter

NO	DESCRIPTION	UNIT	ASSUMPTION	CONDITION					
				Acc SR 14	Acc SR 16	Acc SR 18	Acc SR 20	Acc SR 25	Acc SR 30
1	<b>RESERVES</b>								
	WASTE	Million Bcm		4.15	6.35	7.42	9.05	11.03	16.64
	ROM COAL	Million Ton		0.40	0.55	0.62	0.70	0.78	0.96
	SR	Bcm/Ton		10.31	11.60	11.93	12.96	14.14	17.42
	Finishing Coal (Rec 98%)	Million Ton		0.39	0.54	0.61	0.68	0.76	0.94
	Incremental Coal	Million Ton		0.14	0.07	0.07	0.07	0.08	0.17
	Incremental Coal	%			36%	14%	12%	12%	22%
2	<b>COAL PRICE</b>	USD/Ton	92.06	92.06	92.06	92.06	92.06	92.06	92.06
3	<b>OB PRICE</b>	USD/Bcm	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
4	<b>MINING COST</b>								
	<i>Biaya Peng. Lanjutung &amp; Tak Lanjutung</i>								
	OB Removal	USD/Bcm		23.70	26.68	27.44	29.81	32.53	40.07
	Penggalian	USD/Ton ROM	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
	Pengangkutan	USD/Ton ROM	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	Pengolahan	USD/Ton FC	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Road Rent	USD/Ton FC	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Amortisasi, Pembebasan Tanah & Depresiasi	USD/Ton FC	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Kontrol Kualitas	USD/Ton FC	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Management Stockpile	USD/Ton FC	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Pemuatan Batubara ke Tongkang	USD/Ton FC	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	Biaya Tongkang	USD/Ton FC	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
	Biaya Loading ke Vessel	USD/Ton FC	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	<i>Biaya Umum &amp; Administrasi</i>								
	Biaya K3, CSR, Proteksi LH	USD/Ton FC	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Biaya Overhead	USD/Ton FC	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	
Iuran Tetap	USD/Ton FC	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	
Biaya Pemasaran	USD/Ton FC	9.21	9.21	9.21	9.21	9.21	9.21	9.21	
Biaya Royalti (7%)	USD/Ton FC	6.44	6.44	6.44	6.44	6.44	6.44	6.44	
5	<b>TOTAL COST</b>		36.01	59.71	62.69	63.45	65.82	68.54	76.08
6	<b>B.E.S.R</b>	Bcm/Ton ROM	24.37	24.37	24.37	24.37	24.37	24.37	24.37
		Bcm/Ton FC	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87	24.87

Note : Coal Hauling Distance 25 km  
MV Barge Distance 55 N Mil

Tabel 2. Hasil perhitungan Profit Margin

NO	DESCRIPTION	UNIT	ASSUMPTION	CONDITION					
				Acc SR 14	Acc SR 16	Acc SR 18	Acc SR 20	Acc SR 25	Acc SR 30
1	<b>RESERVES</b>								
	WASTE	Million Bcm		4.15	6.35	7.42	9.05	11.03	16.64
	ROM COAL	Million Ton		0.40	0.55	0.62	0.70	0.78	0.96
	SR	Bcm/Ton		10.31	11.60	11.93	12.96	14.14	17.42
	Finishing Coal (Rec 98%)	Million Ton		0.39	0.54	0.61	0.68	0.76	0.94
	Incremental Coal	Million Ton		0.14	0.07	0.07	0.07	0.08	0.17
	Incremental Coal	%			36%	14%	12%	12%	22%
2	<b>PROFIT MARGIN</b>								
	Gross Margin	USD/Ton		32.35	29.37	28.61	26.24	23.52	15.98
	Taxation 30%			9.70	8.81	8.58	7.87	7.05	4.79
	Net Margin	USD/Ton		22.64	20.56	20.03	18.37	16.46	11.18
	Total Net Margin	Million USD		8.94	11.02	12.21	12.57	12.58	10.47



Gambar 9. Diagram SR, Reserve dan Optimum Profit

---

Hasil perhitungan BESR dengan parameter pada Tabel 1 memberikan nilai  $24.37 : 1$ . *block-strip* atau *block* individu yang lebih kecil dari  $24.37 : 1$  layak untuk ditambang dan akan memberikan selisih keuntungan positif. Sedangkan *block-strip* yang bernilai  $24.37 : 1$  akan memberikan keuntungan sama dengan 0. *block-strip* yang bernilai lebih besar dan  $24.37 : 1$  akan memberikan selisih keuntungan negatif.

Pada model geologi yang termanifestasikan dari nilai-nilai *block-strip* dan parameter model yang diberikan, batas tambang akan melewati pada blok yang berwarna hitam dalam melakukan penghalusan (*smoothing*) (Gambar 6). Pada batas tambang (*blok strip*) tersebut akan memberikan *Profit Margin* yang paling tinggi dan selisih *Profit Margin* sama dengan 0 (Lihat Tabel 2 dan Gambar 9).

## 5. Kesimpulan

Secara umum ada parameter kunci yang berpengaruh terhadap penentuan batas tambang terbaik tambang Terbuka batubara adalah (1) biaya pemindahan material penutup (*over burden*) per bcm, (2) biaya penambangan batubara (coal mining) per ton yang mana kedua hal tersebut masuk dalam parameter operasi tambang, dan (3) harga jual batubara (coal price) per ton yang masuk dalam parameter faktor eksternal/pasar,. Selain ke tiga biaya-biaya diatas, biaya lain tidak berpengaruh dalam penentuan batas tambang terbaik tambang terbuka batubara, tetapi hanya berpengaruh pada besaran *Profit Margin*

Pada batubara multi-seam dan kualitas yang berubah secara signifikan dalam blok-strip, maka dalam penerapannya perlu dilakukan lebih teliti

---

**DAFTAR PUSTAKA**

- Barber. J dan Hanna, P .. 2000, The Mine Planning Process. Proceedings of mining dan Energy Indonesia 2000 Conference "New Indonesian Era for Better Investment and National Prosperity ". Jakarta.
- Kawalec. W., 2000. Open Pit design optimisation of a lignit deposit. Proceedings of the Thirteenth International Symposium On mine planning and Equipment Selection. AA,Balkema,Rotterdam,217-222,
- Kennedy. B.A.. 1990. Surface mining. Edisi 2, Society for mining metallurgy, and Exploration. Inc .USA.
- Sasongko. W, 2009. Pemodelan Optimasi Pit Tambang Terbuka Batubara : Pendekatan Incremental Pit Expansion dan Model Cash Flow. Proceedings International Conference Science and Technology, Yogyakarta
- Topal. E.. 2008. Evaluation of a mining project using discounted cash flow analysis, decision tree analysis. Monte Carlo Simulation and real options using an example. Int. J. Mining and Mineral Engineering, 1 (1), 62 - 76.
- Wright. E.A.. 1990. Open pit mine design models: An introduction with FORTRAN 77 programs. Series on Mining Engineering Vol. 8 Trans Tech Publications, Clausthal-Zellerfeld, Germany