



## PEMILIHAN *OPTIMUM PIT LIMIT* BERDASARKAN VOLATILITAS HARGA BATUBARA MENGGUNAKAN *DISCOUNTED CASH FLOW*

### *SELECTION OF OPTIMUM PIT LIMIT BASED ON COAL PRICE VOLATILITY USING DISCOUNTED CASH FLOW*

V. Hardiman<sup>1</sup>, E. Ibrahim<sup>2</sup>, B. Setiawan<sup>3</sup>, M. Yusuf<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup> Program Studi Magister Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya

<sup>1-4</sup>Jalan Padang Selasa No. 524 Bukit Besar Palembang

e-mail: \*[hardimanverlly@gmail.com](mailto:hardimanverlly@gmail.com), [eddyibrahim@ft.unsri.ac.id](mailto:eddyibrahim@ft.unsri.ac.id), [budhi.setiawan@unsri.ac.id](mailto:budhi.setiawan@unsri.ac.id),  
[maulanayusuf@ft.unsri.ac.id](mailto:maulanayusuf@ft.unsri.ac.id)

#### ABSTRAK

Nilai cadangan total dari sebuah pit pada tambang terbuka batubara didapatkan dari pemilihan *pit shell dengan Net Present Value* (NPV) tertinggi dari keseluruhan hasil pit optimasi yang telah dilakukan dengan bantuan perangkat lunak dengan algoritma tertentu. Pada umumnya NPV dihitung menggunakan harga batubara acuan (HBA) terbaru pada saat perhitungan dilakukan tanpa mempertimbangkan fluktuasi harga yang pernah terjadi. Sehingga nilai yang didapatkan tidak relevan lagi apabila terjadi perubahan harga yang signifikan di masa mendatang. Penelitian bertujuan untuk menentukan *optimum pit shell* dari setiap hasil pit optimasi dengan melakukan simulasi keekonomian menggunakan *Discounted Cash Flow* (DCF) berdasarkan volatilitas harga jual batubara historis. Metode DCF dipilih untuk mengambil keputusan karena mudah dipahami dan cepat diadopsi. Sifat dari metode ini sangat sensitif terhadap perubahan kecil dalam tingkat diskonto dan asumsi tingkat pertumbuhan. Metode DCF memperhitungkan NPV dari aliran kas berdasarkan harga jual komoditas bahan galian yang dianggap konstan dengan menetapkan *discount factor*. Volatilitas mewakili tingkat risiko suatu proyek yang dilihat dari perubahan harga jual dalam periode tertentu di masa lampau. Tahapan yang dilakukan mulai dari melakukan validasi model geologi, perhitungan *break even stripping ratio*, proses pit optimasi, perhitungan volatilitas harga batubara, sampai dengan valuasi DCF. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan *optimum pit shell* antara penggunaan HBA aktual dengan harga yang telah didiskon dengan volatilitas. *Pit shell optimum* dengan menggunakan volatilitas memiliki cadangan yang lebih rendah daripada *pit shell optimum* dengan penggunaan harga aktual HBA.

**Kata kunci:** *pit shell, optimum pit, NPV, volatilitas, DCF*

#### ABSTRACT

The total reserves of an open pit coal mine is obtained from the selection of pit shells with the highest Net Present Value (NPV) based on optimization results. NPV is calculated using the latest reference coal price (HBA) without considering price fluctuations that have occurred. So that the value obtained is no longer relevant if there is a significant price change in the future. The study aims to determine the optimum pit shell from each pit optimization result by conducting an economic simulation using Discounted Cash Flow (DCF) based on historical coal selling price volatility. The DCF method was chosen for decision making because it is easy to understand and quick to adopt. The nature of the method is highly sensitive to small changes in discount rate and growth rate assumptions. The DCF method calculates the NPV of the cash flow based on the selling price of the minerals commodity which is considered constant by setting the discount factor. Volatility represents the level of risk of a project as seen from changes in selling prices in a certain period in the past. The stages carried out start from validating the geological model, calculating the break even stripping ratio, pit optimization process, calculating coal price volatility, to DCF valuation. The results showed a difference in optimum pit shell between the use of actual HBA and prices that have been discounted with volatility. The optimum pit shell using volatility has lower reserves than the optimum pit shell using the actual HBA price.

**Keywords :** *pit shell, optimum pit, NPV, volatility, DCF*



## PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumberdaya batubara kualitas menengah dan rendah yang melimpah. Sekitar 60 persen dari total sumberdaya batubara tersebut adalah batubara kualitas rendah (*sub-bituminous*) yang memiliki nilai kalori kurang dari 6100 kcal/Kg. Kualitas batubara dipengaruhi oleh peringkat batubara. Peringkat batubara mengacu pada "*coalification*", dimana tanaman mati yang terkubur berubah menjadi material yang lebih keras dan material yang lebih kaya karbon [1].

Nilai cadangan batubara (*coal reserves*) sangat mempengaruhi perencanaan tambang ke depannya baik secara teknis maupun keekonomian. Total cadangan batubara nasional terverifikasi yang tercatat adalah sebesar 35,05 miliar ton [2]. Tingkat keyakinan terhadap cadangan yang diestimasi, secara keekonomian akan menentukan layak atau tidaknya tambang tersebut untuk dioperasikan. Nilai cadangan total dari sebuah pit pada tambang terbuka batubara didapatkan dari pemilihan *pit shell* dengan nilai *Net Present Value* (NPV) tertinggi dari keseluruhan hasil pit optimasi yang diperoleh melalui perangkat lunak dengan algoritma tertentu. NPV dari setiap hasil pit optimasi tersebut disimulasikan dengan menggunakan aliran kas terdiskonto. Metode *Discounted Cash Flow* (DCF) memperhitungkan NPV dan *Internal Rate of Return* (IRR) dari aliran kas berdasarkan harga jual komoditas bahan galian yang dianggap relatif konstan dengan menetapkan *discount factor* [3].

Tahap paling awal dari perencanaan tambang adalah penentuan *ultimate pit limit* yang diperoleh dari proses *pit optimization* [4]. Pada kebanyakan tambang batubara, estimasi cadangan yang dilakukan belum memperhitungkan ketidakpastian ekonomi, dimana harga komoditas batubara menjadi alasan utama dari ketidakpastian tersebut [5]. Ketidakpastian harga jual akan mempengaruhi perencanaan tambang kedepannya dalam menentukan *ultimate pit limit* dengan nisbah pengupasan (*stripping ratio*) tertentu pada tambang terbuka [6].

Sebelum pit optimasi dijalankan, ada beberapa proses penting yang harus dilakukan yaitu pembuatan model geologi, kemudian model ekonomi sederhana untuk memperoleh beberapa variabel yang nantinya akan dimasukkan dalam proses optimasi, dimana dalam tiap skenario menghasilkan beberapa variabel output, berdasarkan indikator ekonomi yang dihitung [7]. Saat melakukan pit optimasi, skenario penambangan dan tahapannya harus ditentukan sedemikian rupa sehingga diperoleh bukaan dengan nilai ekonomi terbaik [8]. Ukuran dan bentuk dari suatu pit tergantung pada faktor ekonomi dan kendala teknis di area rencana tambang [9]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan evaluasi keekonomian menggunakan *discounted cash flow* dari setiap hasil pit optimasi dengan mengacu pada

nilai volatilitas dari historikal harga jual sehingga didapatkan nilai cadangan serta batasan pit yang optimal.

Penelitian terkait pit optimasi tambang telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Di antaranya menurut Wiwin (2020), penentuan batas pit limit bertujuan untuk menentukan seberapa besar efisiensinya suatu bukaan pit yang terbentuk dengan menggunakan metode algoritma Lerchs-Grossman [10]. Rifandy (2018) berfokus pada parameter kunci yang berpengaruh terhadap penentuan batas tambang terbaik tambang terbuka batubara parameter biaya operasi tambang dan harga jual batubara per ton yang masuk dalam parameter faktor pasar [4]. Rimele (2020) meneliti tentang pengaruh gabungan dari ketidakpastian geologi dan harga terhadap perencanaan umur tambang dan penjadwalan produksi [11]. Tua (2020) melakukan perhitungan analisis volatilitas berdasarkan NPV terdahulu dalam periode waktu tertentu [12].

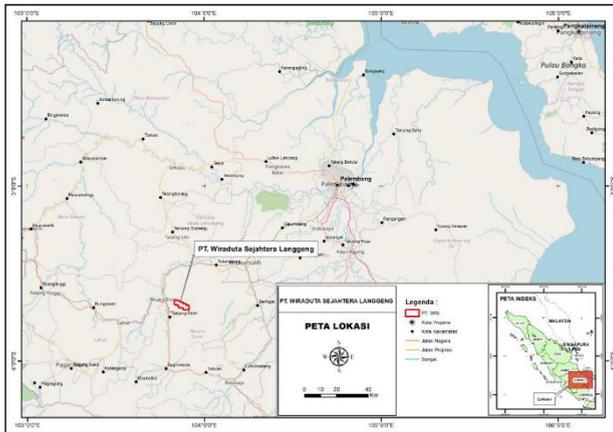
Berdasarkan dari penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa harga jual batubara menjadi faktor utama dari ketidakpastian dalam penentuan batas tambang optimal. Dalam penelitian-penelitian tersebut belum dilakukan analisis volatilitas terhadap historikal harga jual, sehingga batas tambang optimal dihitung dan ditentukan berdasarkan harga acuan yang berlaku saat ini. Sebagai keterbaruan dalam penelitian ini, dilakukan evaluasi keekonomian tambang untuk mendapatkan NPV tertinggi dari serangkaian pit shell yang telah terbentuk melalui proses pit optimasi, menggunakan harga yang telah didiskon dengan nilai volatilitas harga jual historis. Hal ini diharapkan dapat mengakomodir tingkat *confidence* pelaku usaha dalam mengambil keputusan untuk menghadapi potensi fluktuasi harga yang akan terjadi di masa mendatang sehingga tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kegiatan operasional tambang..

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi PT WSL yang berlokasi di Kecamatan Gunung Megang dan Muara Enim, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Penelitian hanya berfokus pada salah satu Blok, yaitu Blok Utara dengan alasan kelengkapan data eksplorasi yang dimiliki. Peta lokasi IUP PT WSL disajikan pada Gambar 1.

Penelitian diawali dengan melakukan verifikasi terhadap keseluruhan data sekunder di antaranya adalah biaya kapital, biaya operasional, historikal harga, serta data teknis lainnya. Kemudian dilakukan validasi model geologi yang dilanjutkan dengan membuat model ekonomi sederhana untuk menentukan *Break Even Stripping Ratio* (BESR). Berdasarkan hasil dari perhitungan BESR dilanjutkan pada tahap pit optimasi menggunakan bantuan perangkat lunak yang mendukung

algoritma lerch-grossman. Paralel dengan proses tersebut, dilakukan perhitungan volatilitas harga batubara berdasarkan data historikal riil dalam rentang waktu sepuluh tahun terakhir. Setelah proses pit optimasi selesai dan nilai volatilitas didapatkan, dilanjutkan pada simulasi perencanaan produksi seumur tambang (LoM) dan pembuatan model ekonomi *discounted cash flow* dari setiap *pit shell* hasil optimasi untuk mendapatkan *pit shell* dengan NPV tertinggi. Diagram penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2. Diagram Penelitian

### Analisis Break Even Stripping Ratio (BESR)

Untuk menentukan jumlah produksi atau batas dalam tambang terbuka batubara, maka dilakukan perhitungan *break even stripping ratio* (BESR) dari daerah yang akan ditambang. Dasar dari BESR adalah parameter ekonomi seperti harga jual dan biaya operasional yang mewakili rasio *waste* dan batubara dalam pit. Nilai BESR sangat penting karena akan menjadi acuan dalam membuat batas penambangan. Batas penambangan batubara harus berada dalam garis BESR ( $SR < BESR$ ), yang akan menghasilkan keuntungan bagi perusahaan [13].

$$BESR = \frac{(R - C_{coal})}{C_{OB}} \quad (1)$$

- R : Revenue (\$)
- $C_{coal}$  : Biaya penambangan batubara (\$/ton)
- $C_{OB}$  : Biaya pemindahan material penutup (\$/bcm)

### Volatilitas Harga Jual

Volatilitas mewakili tingkat risiko suatu proyek dilihat dari perubahan harga jual dalam periode tertentu. Variabel ini tidak dapat diketahui dari keadaan pasar sekarang, melainkan dari data historis. Semakin besar *volatility*, maka memberikan nilai hak yang semakin tinggi. Angka volatilitas dinyatakan sebagai standar deviasi ( $\sigma$ ) dari laju pertumbuhan (*growth rate*). Laju pertumbuhan rata-rata disebut dengan *drift rate* [12].

$$U_i = \ln \left( \frac{\text{Harga Batubara}_{n+1}}{\text{Harga Batubara}_n} \right) \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(U_i - \bar{U}_i)^2}{n - 1}} \quad (3)$$

- $U_i$  : Laju pertumbuhan (*growth rate*)
- $\bar{U}_i$  : Laju pertumbuhan rata-rata (*drift rate*)
- n : Jumlah data

$$\text{Coal Price After Discount} = \frac{\text{Coal Index}}{(1 + \sigma_{\text{annual}})} \quad (4)$$

### Discounted Cash Flow

Analisis *discounted cash flow* (DCF) digunakan untuk meramalkan kondisi keuangan di masa yang akan datang berdasarkan kondisi saat sekarang untuk menghitung *net present value* [14]. Metode DCF merupakan cara konvensional dalam melakukan valuasi terhadap suatu proyek dimana semua aliran kas pada metode ini dikonversikan menjadi nilai sekarang. Mekanisme pada DCF adalah dengan menetapkan diskon arus kas yang akan dihasilkan dari suatu proyek pada tingkat *discount rate* tertentu.

Persentase faktor diskon dihitung dengan *Weighted Average Cost of Capital* (WACC) [15]. Semua proyek memiliki risiko, tidak terkecuali tambang batubara. Risiko negara yang dimiliki proyek tertentu dapat dipertanggungjawabkan dengan meningkatkan faktor diskonto untuk menyesuaikan dengan risiko. Faktor geopolitik dan makro ekonomi yang perlu diperhatikan seperti ketidakstabilan politik, nilai tukar yang fluktuatif dan gejolak ekonomi telah menyebabkan investor mewaspadaai peluang investasi asing sehingga memerlukan premi untuk investasi. Karena premi risiko yang dihitung dengan cara ini berlaku untuk investasi ekuitas [16]. *Country Risk Premium* (CRP) akan ditambahkan sebagai premi risiko ke dalam perhitungan.

WACC merupakan rasio keuangan yang digunakan untuk menghitung biaya modal (*cost of capital*) suatu badan usaha dari keseluruhan sumber dana secara proporsional, baik itu yang sifatnya modal sendiri (*equity*) maupun pinjaman (*debt*).

$$K_e = R_c + R_f + \beta * ERP \quad (5)$$

- $K_e$  : Biaya ekuitas
- $R_f$  : Tingkat pengembalian bebas risiko,
- $\beta$  : Sensitivitas pengembalian saham ( $\geq 1$ )
- $ERP$  : Equity Risk Premium
- $R_c$  : Country Risk Premium

$$WACC = ((E/TC) * K_e) + ((D/TC) * K_d) * (1 - T) \quad (6)$$

- $E$  : Modal Sendiri (Equity)
- $D$  : Pinjaman (Debt)
- $TC$  : Total Modal Usaha
- $K_e$  : Biaya Ekuitas
- $K_d$  : Bunga Pinjaman
- $T$  : Pajak

*Net present value* (NPV) diperoleh dari hasil perhitungan selisih antara pemasukan dan pengeluaran (aliran kas) yang didiskon dengan *cost of capital* yang dinyatakan dalam satuan mata uang. NPV memperkirakan nilai arus kas masa depan berdasarkan nilai uang hari ini [17]. Apabila NPV dihitung menggunakan metode DCF tradisional dengan asumsi harga komoditas yang sudah ditentukan, nilai *free cash flow* dapat didefinisikan sebagai berikut [18]:

$$FCFn = \{[(P - C) * Q] - FC - D - T\} + D \quad (7)$$

- $FCF$  : *Free cash flow*
- $P$  : Harga komoditas
- $C$  : *Variable cost*
- $Q$  : *Production rate*
- $FC$  : *Fixed cost*

- $D$  : Depresiasi
- $T$  : Pajak

Setelah nilai *free cash flow* didapatkan, kemudian *net present value* akan dihitung dengan:

$$NPV = -IC + \sum_{n=1}^N \frac{FCF_n}{(1+i)^n} \quad (8)$$

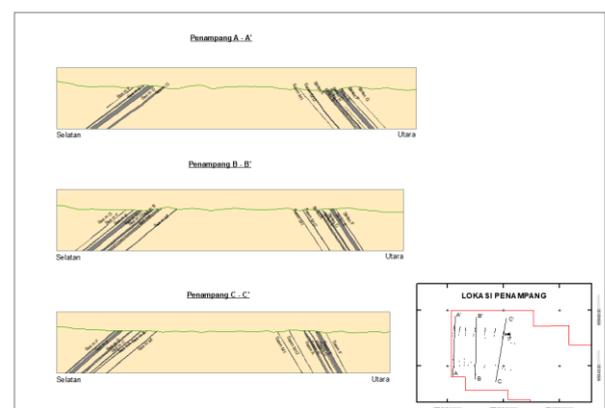
- $i$  : *Discount rate / discount factor*
- $IC$  : Biaya investasi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Model Geologi dan Kualitas Batubara

Lokasi yang dijadikan sebagai objek penelitian yaitu Blok Utara IUP PT WSL karena memiliki data eksplorasi yang memadai, sehingga model geologi dan model kualitas batubara yang dihasilkan cukup valid. Pada Blok Utara ini terdapat hingga 13 lapisan batubara termasuk *seam split* telah teridentifikasi yang termasuk kelas sub-bituminous. Penampang melintang lapisan batubara di lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

Perlapisan batubara di lokasi penelitian memiliki jurus (strike) Barat-Timur dengan kemiringan lapisan batubara ke arah Utara sekitar 60-75°. Membentuk lipatan antiklin dengan perlapisan batubara di bagian selatannya. Validasi geometri dan struktur telah dilakukan dengan memeriksa hasil *grid* perlapisan batubara yang terbentuk dari proses pemodelan geologi dengan membandingkannya terhadap data interval batubara pada data logging geofisika tiap lubang bor.



Gambar 3. Penampang Melintang Model Batubara

Tabel 1. Kualitas Batubara Insitu

Seam	TM	IM	ASH	VM	FC	TS	CV		RD	
	%	%	%	%	%	%	Kcal/kg		gr/cc	
	ar	adb	adb	adb	adb	adb	adb	arb	daf	adb
F	39,50	14,20	3,70	42,00	40,10	0,20	5.748	4.049	7.006	1,32
E	41,00	12,80	4,60	42,90	39,70	0,20	5.812	3.932	7.032	1,32
D	39,50	13,90	4,50	42,10	39,40	0,20	5.680	3.995	6.966	1,33
CU	40,10	13,70	3,80	44,10	38,40	0,20	5.885	4.087	7.131	1,31
CU	40,20	14,00	4,20	41,80	40,10	0,30	5.775	4.014	7.057	1,32
CL	39,30	12,90	5,40	42,20	39,40	0,20	5.753	4.013	7.049	1,30
B	40,40	12,60	3,70	43,90	39,70	0,20	5.908	4.034	7.063	1,31
A	39,50	13,50	3,80	44,10	38,70	0,20	5.779	4.040	6.983	1,31
M1	40,40	14,20	3,00	43,30	39,50	0,20	5.754	3.993	6.947	1,32

### Break Even Stripping Ratio (BESR)

Kualitas batubara di lokasi penelitian masuk dalam kesetaraan HBA II. Untuk perhitungan Harga Patokan Batubara (HPB) dengan nilai kalori  $\leq 4.200$  dan Total Moisture (TM) rata-rata  $\geq 40\%$  sehingga berdasarkan Lampiran II Keputusan Menteri ESDM nomor 227 Tahun 2023, perhitungan harus menggunakan Faktor Koreksi Kandungan Air Batubara (FKA). Harga jual batubara sesuai dengan kualitasnya yang digunakan untuk perhitungan BESR adalah sebagai berikut:

$$HBA II = (0,7 * 50,41) + (0,3 * 53,83) = 51,44$$

$$FKA = \frac{\left( \left( \frac{(100-35,29)}{(100-40)} \right) * 40 \right) + (100 - 35,29)}{100} = 1,0785$$

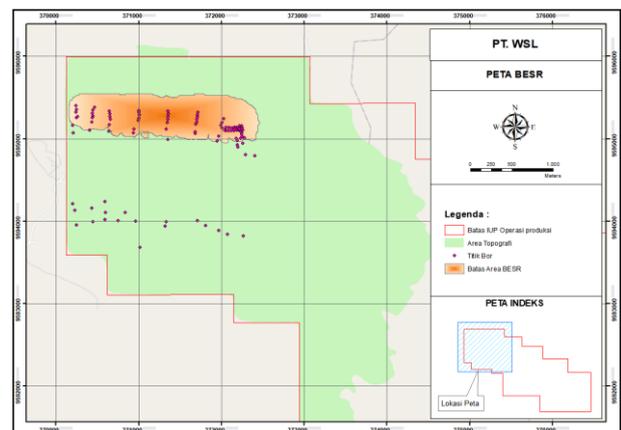
$$HPB = \left( 51436 * \frac{3900}{4100} * \frac{(100-40)}{(100 - \frac{35,29}{1,0785})} \right) = \$ 46,13$$

Dalam proses optimasi pit dilakukan analisa terhadap BESR (*Break Even Stripping Ratio*) dimana pada BESR proyek tersebut pulang pokok atau impas dengan margin sama dengan 0 (nol). Proses perhitungan BESR telah memenuhi prinsip “keprospekan yang beralasan untuk pada akhirnya dapat diekstraksi secara ekonomis”. Dalam rangka memenuhi prinsip prospek beralasan tersebut, digunakan pendekatan keekonomian sebagai constraint parameter. Setelah harga jual ditentukan maka berdasarkan Persamaan 1 nilai *Break Even Stripping Ratio* adalah sebagai berikut:

$$BESR = \frac{(46,13-30,60)}{2,53} = 6,14 \text{ bcm/ton}$$

Kemudian sudut kemiringan jenjang tambang total (*overall slope*)  $35^\circ$  yang diperoleh berdasarkan kajian geoteknik tersendiri, serta penentuan ketebalan minimum

batubara yang dapat ditambang. Sedangkan untuk densitas batubara yang digunakan adalah densitas insitu. Batas BESR secara penampang dua dimensi dapat dilihat pada Gambar 4.



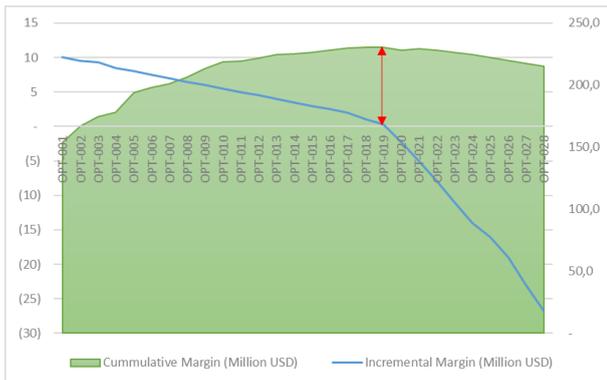
Gambar 4. Constraint Permukaan dan BESR

### Optimasi Pit

Optimisasi pit menghasilkan serangkaian *pit shell* menggunakan satu set parameter biaya penambangan dengan total *pit quantity* dan *stripping ratio* yang bervariasi. Dimulai dengan harga diskon yang paling rendah mengikuti faktor diskon yang tinggi dan bergerak ke arah harga jual yang lebih tinggi dengan mengurangi diskon harga jual. Hal tersebut dapat memperkirakan nilai optimal dengan menghitung *incremental margin per ton* pada tiap *pit shell* tertentu menggunakan parameter biaya-pendapatan dan jumlah fisik (*physical quantities*) dalam *pit shell*.

Seiring dengan proses optimisasi ini, margin tambahan (*incremental margin*) per ton batubara perlahan-lahan turun menjadi nol menjadi faktor diskon "nol" dan kemudian menjadi negatif karena *pit shell* semakin dalam mengikuti kenaikan harga jual (Gambar 5). Akibatnya

margin kumulatif perlahan naik ke level maksimum pada faktor diskon "nol" dan kemudian mulai menurun. Dengan demikian *pit shell* yang mewakili faktor diskon "nol" disebut *pit shell* optimum matematis karena *pit shell* yang lebih kecil atau lebih besar akan memiliki margin kumulatif yang lebih rendah.



**Gambar 5.** Cummulative dan Incremental Margin Blok Utara

Tujuan dalam proses ini dimaksudkan untuk menunjukkan sensitivitas ekonomis pit. Setelah mendapatkan hasil dari optimasi pit, maka, parameter biaya, pendapatan, *mining loss*, dilusi dan *moisture adjustment* kemudian diterapkan pada masing-masing *pit shell* dan model keuangan awal dibuat untuk setiap *pit shell* menggunakan *physical quantities pit shell*. Metodologi pemilihan pit didasarkan pada pemaksimalan "Margin Ranking Profit" proyek. *Pit shell* dengan Margin Ranking atau NPV maksimum untuk proyek dipilih untuk desain pit akhir.

### Volatilitas Harga Jual Batubara

Harga jual batubara selalu mengalami perubahan. Berdasarkan data harga historis Indonesia Coal Index (ICI) dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, harga batubara dengan spesifikasi ICI 4 mengalami harga terendah pada bulan September 2020 pada angka \$ 22,53 dan mengalami puncak harga tertinggi di Bulan Oktober 2021 pada angka \$ 155,1. Data tersebut menunjukkan bahwa terjadi perubahan harga jual yang sangat signifikan hanya dalam rentang waktu 13 (tiga belas) bulan.

Grafik historikal harga jual batubara berdasarkan ICI dapat dilihat pada Gambar 6. Fluktuasi harga batubara sejak 2014 diasumsikan sangat mungkin terjadi saat penambangan dilakukan di masa mendatang. Prakiraan terhadap perubahan harga batubara akan dapat mempertimbangkan risiko ekonomi yang mungkin terjadi selama kegiatan penambangan berjalan.



**Gambar 6.** Historikal harga batubara berdasarkan ICI

Volatilitas harga jual dihitung dalam periode 10 tahun ke belakang. Nilai volatilitas ini yang digunakan untuk memproyeksikan perubahan harga yang mungkin terjadi selama umur proyek dalam kisi binomial. Volatilitas akan digunakan sebagai faktor diskon terhadap risiko harga dalam perhitungan real option. Nilai volatilitas diwakili oleh standar deviasi ( $\sigma$ ) dari laju pertumbuhan (*growth rate*,  $U_i$ ). Rata-rata laju pertumbuhan disebut dengan laju perubahan (*drift rate*,  $\bar{U}_i$ ). Hasil perhitungan laju pertumbuhan rata-rata berdasarkan historikal perubahan harga batubara sejak tahun 2014 sampai tahun 2023 (Tabel 2).

$$\text{Volatilitas } (\sigma) = \sqrt{\left(\frac{0,910134524100618}{10 - 1}\right)} = 31,8\%$$

$$\begin{aligned} \text{Coal Price After Discount} &= \frac{58,27}{(1+31,8\%)} \\ &= 44,21 \text{ USD/ton} \end{aligned}$$

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Laju Pertumbuhan Rata-rata

Tahun	HBA (\$/ton)	Harga Jual (\$/ton)	Growth Rate (Ui)	( $\bar{U}_i$ )	( $U_i - \bar{U}_i$ ) <sup>2</sup>
2013	82,92	40,99	-	-	-
2014	72,62	37,29	-0,09466	0,06037	0,02404
2015	60,13	30,66	-0,19572	0,06037	0,06559
2016	61,84	32,07	0,04487	0,06037	0,00024
2017	85,92	42,91	0,29133	0,06037	0,05334
2018	98,96	41,90	-0,02401	0,06037	0,00712
2019	77,89	34,98	-0,18028	0,06037	0,05791
2020	58,17	29,25	-0,17906	0,06037	0,05733
2021	121,47	65,69	0,80912	0,06037	0,56062
2022	276,58	86,13	0,27087	0,06037	0,04431
2023	192,63	74,97	-0,13874	0,06037	0,03965

**Discounted Cash Flow**

Biaya-biaya yang diasumsikan dalam penelitian ini dimaksudkan hanya untuk tujuan penelitian dan tidak akan ditafsirkan sebagai dasar penilaian bagi pemegang IUP. Sementara harga tersebut dinilai wajar untuk tujuan penelitian ini dan menampilkan satu kemungkinan hasil di masa depan. Biaya di masa mendatang dipengaruhi oleh beberapa faktor yang tidak dapat dikontrol ataupun diprediksi secara akurat. Satuan biaya ini kemudian dibandingkan kembali dengan biaya aktual dari operasi aktif saat ini sehingga dianggap masuk akal dan wajar sesuai untuk digunakan dalam penelitian ini. Input parameter ekonomi pada proses optimasi pit adalah berdasarkan satuan unit biaya ini. BESR yang dikaji adalah 6,14 bcm/t. Sedangkan pada model keuangan biaya operasional berada di bawah harga jual batubara sehingga memberikan margin yang cukup terhadap kegiatan operasional penambangan.

Proporsi biaya modal yang digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan data yang diperoleh dari perusahaan, dimana 20% merupakan modal sendiri (E), dan 80% berasal dari pinjaman (D). Tingkat bunga pinjaman yang digunakan ( $K_d$ ) adalah sebesar 6,0 % per tahun (Tabel 3). PPh badan (T) sebesar 25%. Tingkat pengembalian bebas risiko ( $R_f$ ) berdasarkan pada return yang mungkin diperoleh dari investasi dalam keamanan bebas risiko, seperti surat hutang pemerintah (obligasi) sebesar 6,75% (rata-rata dalam 10 tahun). Persentase country risk premium ( $R_c$ ) Indonesia adalah 2,02% dan Equity Risk Premium (ERP) Indonesia adalah 7,96%. Sedangkan sensitivitas pengembalian saham ( $\beta$ ) adalah sebesar 1,00. Dengan demikian, berdasarkan perhitungan biaya ekuitas ( $K_e$ ) adalah sebesar 9,98% dan WACC sebesar 5,6%.

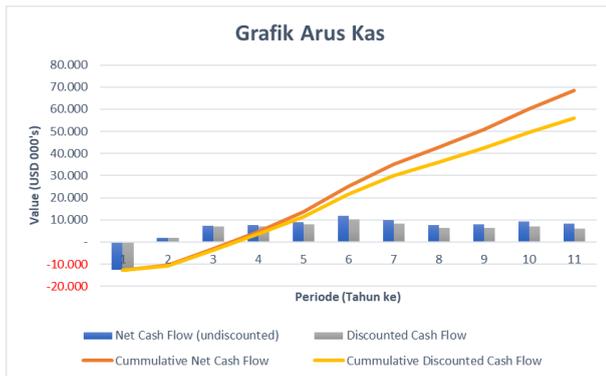
**Tabel 3.** Komponen *Weighted Average Cost of Capital* (WACC)

Deskripsi	Simbol	Nilai
<i>Risk Free Rate of Return</i>	$R_f$	6,75%
<i>Country Risk Premium</i> Indonesia	$R_c$	2,02%
<i>Relevered Beta</i>	$\beta$	1,00
<i>Equity Risk Premium</i>	ERP	7,96%
<i>Other Spesific Risk</i>	X	0,00%
<i>Cost of Equity</i>	$K_e$	9,98%
Persentase Pinjaman ( <i>Debt</i> )	D	80,00%
Persentase Modal Sendiri ( <i>Equity</i> )	E	20,00%
Suku Bunga Bank Sentral	$K_d$	6,0%
Pajak Badan Usaha	T	25,00%
<i>Weighted Average Cost of Capital</i> (WACC)		5,60%

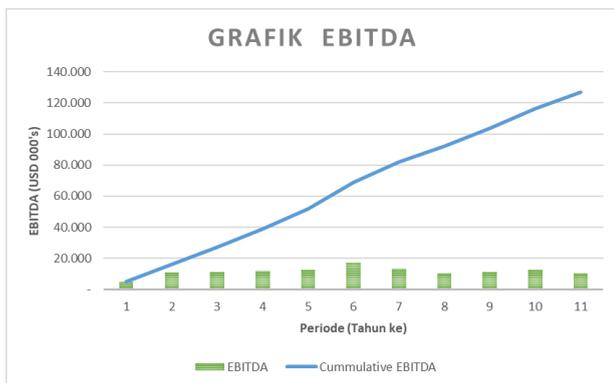
Dengan menggunakan asumsi biaya modal, biaya operasi, dan harga jual yang digabungkan dengan rencana selama *life of mine* (LoM), model ekonomi dikembangkan untuk memastikan ekstraksi ekonomi setelah penerapan semua faktor pengubah. Grafik dengan arus kas riil LoM

ditunjukkan pada Gambar 7, grafik EBITDA riil ditunjukkan pada Gambar 8. Proyek menghasilkan arus kas positif mulai dari tahun keempat dan seterusnya.

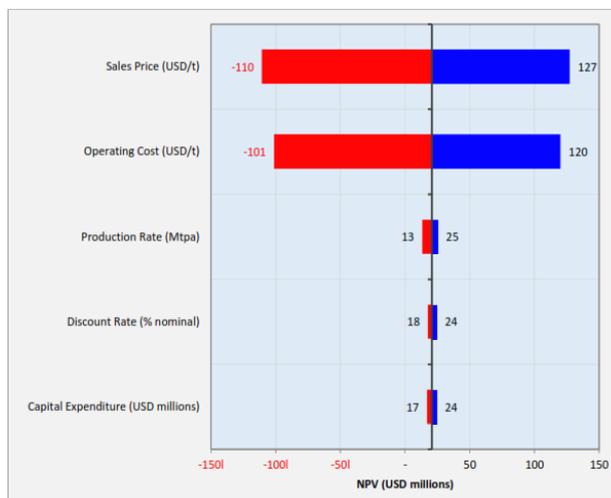
Arus kas negatif pada tahun pertama sampai tahun ketiga adalah efek kumulatif dari investasi modal kerja untuk mendukung rencana produksi maksimal dan juga dipengaruhi harga jual batubara. Peningkatan arus kas proyek dianggap mungkin dihasilkan dari perencanaan yang lebih rinci dan optimalisasi rencana LoM.



Gambar 7. Arus Kas



Gambar 8. EBITDA



Gambar 9. Diagram Tornado – Sensitivitas

Sensitivitas NPV proyek diuji dengan beberapa faktor-faktor di antaranya adalah biaya modal, nilai produksi, biaya operasional, harga jual, dan nilai diskon (*discount rates*). Tingkat diskon akan bervariasi untuk pengguna yang berbeda tergantung pada kebutuhan individu dan bagaimana proyek tersebut didanai.

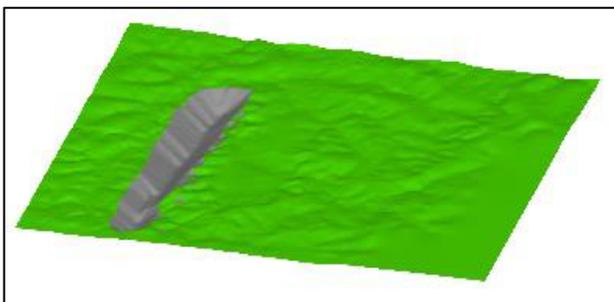
Dengan menggunakan tingkat diskonto riil yang diasumsikan sebesar 5,6%, analisis arus kas yang disimulasikan menghasilkan rentang NPV sebesar USD 23,85 juta sampai dengan USD 65,18 juta. Faktor masukan diuji pada kisaran nilai yang wajar ( $\pm 20\%$ ) sambil menjaga semua faktor lainnya tetap. Hasil analisis sensitivitas ditunjukkan dalam grafik tornado pada Gambar 9. Analisis ini menunjukkan bahwa proyek paling sensitif terhadap variasi harga jual, diikuti oleh biaya operasi, tingkat produksi, tingkat diskonto riil dan biaya modal secara berurutan.

Tabel 4. Pit Quantity Hasil Pit Optimasi

Pit Shell	Coal (KTonnes)	OB (KBcm)	SR
OPT-001	12.128	24.729	2,04
OPT-002	13.529	29.585	2,19
OPT-003	14.338	32.331	2,25
OPT-004	14.806	34.077	2,30
OPT-005	16.664	41.005	2,46
OPT-006	17.209	43.145	2,51
OPT-007	17.655	45.102	2,55
OPT-008	18.407	48.454	2,63
OPT-009	<b>19.477</b>	53.233	2,73
OPT-010	<b>20.386</b>	57.554	2,82
OPT-011	20.546	58.379	2,84
OPT-012	21.023	60.855	2,89
OPT-013	21.664	64.191	2,96
OPT-014	21.798	64.933	2,98
OPT-015	22.253	67.652	3,04
OPT-016	22.746	70.291	3,09
OPT-017	23.208	73.054	3,15
OPT-018	23.537	75.119	3,19
OPT-019	23.883	77.512	3,25
OPT-020	24.878	85.397	3,43
OPT-021	25.498	89.312	3,50
OPT-022	26.089	94.031	3,60
OPT-023	26.249	95.825	3,65
OPT-024	26.367	97.388	3,69
OPT-025	26.535	99.538	3,75
OPT-026	26.658	101.280	3,80
OPT-027	26.782	103.061	3,85
OPT-028	26.879	104.769	3,90

**Tabel 5.** Perbedaan NPV Pada Metode DCF Antara Harga Jual Sebelum Diskon dengan Harga Jual Setelah Diskon Menggunakan Persentase Volatilitas

Pit Shell	NPV Tanpa Diskon Harga Jual = \$ 46,13 (USD 000's)	NPV Setelah Diskon Harga Jual = \$ 44,21 (USD 000's)
OPT-001	51.557	45.847
OPT-002	55.176	48.806
OPT-003	57.379	50.629
OPT-004	58.362	51.391
OPT-005	62.267	54.421
OPT-006	63.208	55.106
OPT-007	63.610	55.297
OPT-008	64.182	55.516
OPT-009	64.975	<b>55.805</b>
OPT-010	<b>65.168</b>	55.571
OPT-011	65.091	55.417
OPT-012	64.810	54.912
OPT-013	64.411	54.211
OPT-014	64.252	53.990
OPT-015	63.324	52.848
OPT-016	62.892	52.183
OPT-017	61.944	51.018
OPT-018	61.098	50.017
OPT-019	59.793	48.549
OPT-020	54.206	42.493
OPT-021	52.561	40.556
OPT-022	49.175	36.892
OPT-023	47.309	34.951
OPT-024	45.493	33.080
OPT-025	43.042	30.549
OPT-026	40.943	28.392
OPT-027	38.779	26.170
OPT-028	36.506	23.851



**Gambar 10.** Pit Shell OPT-009

Berdasarkan Tabel 4 didapatkan bahwa keseluruhan NPV dari 28 (dua puluh delapan) opsi *pit shell* lebih kecil karena menggunakan harga jual yang telah didiskon dengan nilai volatilitas. Hal ini menunjukkan bahwa *Pit Shell* OPT-009 adalah bukaan pit limit dengan NPV tertinggi yaitu 55,80 juta USD dengan total cadangan sebesar 19,47 juta ton (Gambar 10). Namun demikian, dalam perhitungan aliran kas sampai akhir umur tambang

harga jual yang telah didiskon dengan volatilitas tersebut relatif konstan karena menggunakan evaluasi *discounted* terhadap nilai WACC.

## KESIMPULAN

Pemilihan *pit limit* optimum dengan menggunakan simulasi *discounted cash flow* untuk setiap *pit shell* hasil optimasi menunjukkan hasil yang berbeda antara penggunaan harga jual berdasarkan HBA aktual dengan harga jual yang didiskon menggunakan volatilitas historis harga batubara dalam rentang waktu (*time series*) selama sepuluh tahun terakhir. Pada penggunaan harga jual HBA dalam simulasi DCF yaitu \$ 46,14 menghasilkan NPV tertinggi pada pit shell OPT-010 dengan *total pit quantity* sebesar 20,38 juta ton batubara dan *stripping ratio* 2,8 : 1. Sedangkan untuk perhitungan atau simulasi menggunakan harga yang telah didiskon dengan nilai volatilitas historis yaitu \$ 44,21 menghasilkan NPV tertinggi pada pit shell OPT-009 dengan *total pit quantity* sebesar 19,47 juta ton batubara dan *stripping ratio* 2,7 : 1.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zamroni, A., Sugarbo, O., Prastowo, R., Widiatmoko, F.R., Safii, Y., Wijaya, R.A.E., (2020). The Relationship Between Indonesian Coal Qualities and Their Geologic Histories. *AIP Conference Proceedings*. American Institute of Physics Inc.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, (2022). Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Indonesia Tahun 2022.
- [3] AusIMM, (2012). Guidelines for Technical Economic Evaluation of Minerals Industry Projects.
- [4] Rifandy, A., Sutan, S., (2018). Optimasi Pit Tambang Terbuka Batubara Dengan Pendekatan Incremental Pit Expansion, BESR dan Profit Margin. *Jurnal Geologi Pertambangan*, 2(24), 14-25.
- [5] Martinez, L., (2012). Coal Mine Project Evaluation Using an Integrated Real Options Model Approach. *Mineralproduksjon*, 2, 31-52.
- [6] Akbari, A.D., Osanloo, M., Shirazi, M.A., (2009). Mineable Reserves Estimation While Determining Ultimate Pit Limits (UPL) Under Price Uncertainty by Real Options Approach (ROA), *Arch. Min. Sci.*
- [7] Lee, H., (2018). The Economic Feasibility Study on Development of Coal Mine Using Real Options. *International Journal of Mining, Materials, and Metallurgical Engineering*, 4, 6-13.
- [8] Capponi, L.N., Peroni, R. de L., (2020). Mine Planning Under Uncertainty. *Insights in Mining Science & Technology* 02.
- [9] Ahmadi, M.R., (2018). Cutoff Grade Optimization Based on Maximizing Net Present Value



- Using a Computer Model. *Journal of Sustainable Mining*, 17, 68–75.
- [10] Wiwin, W., (2020). Analisis Batas Penambangan Optimal Batubara Menggunakan Metode Algoritma Lerchs-Grossman 2D Pada PT Metalindo Bumi Raya, *Jurnal Himasapta* 5(1), 9-12.
- [11] Riméle, A., Dimitrakopoulos, R., Gamache, M., (2020). A dynamic stochastic programming approach for open-pit mine planning with geological and commodity price uncertainty. *Resources Policy* 65.
- [12] Tua, D.P., Wibowo, A.P., (2020). Evaluasi Cadangan Batubara Dengan Mempertimbangkan Option Value. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 16(3), 139-147.
- [13] Baskoro, F.R., Takahashi, K., Morikawa, K., Nagasawa, K., (2021). System Dynamics Approach in Determining Coal Utilization Scenario in Indonesia. *Resources Policy* 73.
- [14] Diharjo, S., Utomo, C., (2014). Analisis Investasi Proyek Pelaksanaan di Konsesi Penambangan Batubara, *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXI*, Program Studi MMT-ITS.
- [15] Yulanda, Y.A., Toha, M.T., Sjarkowi, F., (2020). Optimasi Stripping rasio Dengan Metode Discounted Cash Flow Pada Project PLTU Mulut Tambang. *Jurnal Pertambangan*, 4(3), 128-133.
- [16] Ikhsani, S., Nainggolan, Y., (2021). Real Option Valuation of Coal Mining Project Using Binomial Lattice Model, *Asia Pacific Journal of Advanced Business and Social Studies*. APJABSS.
- [17] Savolainen, J., Rakhsha, R., Durham, R., (2022). Simulation-Based Decision-Making System for Optimal Mine Production Plan Selection. *Mineral Economics*, 35, 267–281.
- [18] Dehghani, H., Ataee-Pour, M., (2013). Determination of The Effect of Economic Uncertainties on Mining Project Evaluation Using Real Option Valuation. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 4, 265–277.