

TESIS

**ANALISIS PENGARUH FLUKTUASI HARGA BATUBARA
TERHADAP NILAI CADANGAN OPTIMAL
DENGAN METODE BINOMIAL LATTICE**



Oleh:

VERLLY HARDIMAN

NIM. 03042682125002

**BKU PENGELOLAAN SUMBER DAYA BUMI
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN
PROGRAM PASCA SARJANA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2023

TESIS

ANALISIS PENGARUH FLUKTUASI HARGA BATUBARA TERHADAP NILAI CADANGAN OPTIMAL DENGAN METODE BINOMIAL LATTICE

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Magister Teknik Pertambangan Pada Program Pascasarjana
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya



Oleh:

VERLLY HARDIMAN

NIM. 03042682125002

Dosen Pembimbing:

- 1. Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MS., CP., IPU., ASEAN Eng.**
- 2. Budhi Setiawan, ST., MT., Ph.D.**

**BKU PENGELOLAAN SUMBER DAYA BUMI
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN
PROGRAM PASCA SARJANA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENGARUH FLUKTUASI HARGA BATUBARA
TERHADAP NILAI CADANGAN OPTIMAL
DENGAN METODE BINOMIAL LATTICE**

TESIS

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Magister Teknik Pertambangan Pada Program Pascasarjana
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

Oleh:

**Verlly Hardiman
03042682125002**

Palembang, 2024

Pembimbing I



**Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MS., CP., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 196211221991021001**

Pembimbing II



**Budhi Setiawan, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197211121999031002**

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**



**Prof. Dr. Ir. Joni Arliansyah, MT.
NIP. 196706151995121002**

HALAMAN PERSETUJUAN

Tesis dengan judul “Analisis Pengaruh Fluktuasi Harga Batubara Terhadap Nilai Cadangan Optimal Dengan Metode Binomial Lattice” telah diujikan di hadapan Tim Penguji Sidang Tesis Fakultas Teknik, Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya pada Tanggal 25 Maret 2024.

Palembang, April 2024

Ketua Sidang :

Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MS., CP., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 196211221991021001



Anggota :

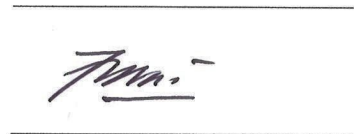
1. Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MS., CP., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 196211221991021001



2. Budhi Setiawan, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197211121999031002



3. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, MS., MT.
NIP. 195909251988111001



4. Dr. Imam Asngari, SE., M.Si.
NIP. 197306072002121002

Mengetahui,

**Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**



Prof. Dr. Ir. Joni Arliansyah, MT.
NIP. 196706151995121002

**Ketua Jurusan Program Studi
Magister Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya**



Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MS., CP., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 196211221991021001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Verlly Hardiman

NIM : 03042682125002


Judul : Analisis Pengaruh Fluktuasi Harga Batubara Terhadap Nilai Cadangan Optimal
Dengan Metode Binomial Lattice

Menyatakan bahwa laporan tesis yang saya susun merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan dan/atau plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan dan/atau plagiat dalam laporan tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan dalam keadaan sadar tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Palembang, April 2024



Verlly Hardiman

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa selalu memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul "Analisis Pengaruh Fluktuasi Harga Batubara Terhadap Nilai Cadangan Optimal Dengan Metode Binomial Lattice". Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Program Studi Magister Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan menghaturkan terima kasih atas bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak yakni:

1. Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MS., CP., IPU., ASEAN Eng. sebagai pembimbing pertama yang sekaligus selaku Ketua Jurusan Program Studi Magister Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya.
2. Bapak Budhi Setiawan, ST., MT., Ph.D. sebagai pembimbing kedua.
3. Bapak Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, MS., MT. sebagai tim penguji.
4. Bapak Dr. Imam Asngari, SE., M.Si. sebagai tim penguji.
5. Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
6. Prof. Dr. Taufiq Marwah, M.Si. selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
7. Bapak/Ibu Dosen di BKU Pengelolaan Sumber Daya Bumi Program Studi Magister Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya
8. Staff admin Program Studi Magister Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya.
9. Yang tercinta: Mama, Alm. Papa, serta Adik-adik
10. Yang tercinta: Istriku yang selalu mendampingi dalam kondisi senang dan susah, serta dua anak shaleh ku.
11. Pimpinan dan rekan kerja pada Subdit Pengawasan Usaha Eksplorasi Batubara, Direktorat Pembinaan Pengusahaan Batubara, Ditjen Minerba Kementerian ESDM.
12. Rekan-rekan mahasiswa dan alumni Program Studi Magister Teknik Pertambangan Universitas Sriwijaya, dan semua pihak yang telah membantu baik moril maupun materil dalam menyelesaikan laporan Tesis ini.

Dalam penulisan tesis ini penulis menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembacanya.

Palembang, April 2024

Penulis

RINGKASAN

ANALISIS PENGARUH FLUKTUASI HARGA BATUBARA TERHADAP NILAI CADANGAN OPTIMAL DENGAN METODE BINOMIAL LATTICE

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, April 2024

Verlly Hardiman; dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MS., CP., IPU., ASEAN Eng. dan Budhi Setiawan, ST., MT., Ph.D.

Coal Selling Prices Fluctuations Analysis Against Optimum Coal Reserves With Binomial Lattice Method

Vi + 78 halaman, 16 tabel, 27 gambar, 6 lampiran

RINGKASAN

Cadangan batubara merupakan acuan dalam melakukan perencanaan tambang. Tingkat keyakinan cadangan menentukan risiko kelayakan ekonomi dan garansi pengembalian modal dari perusahaan tambang. Dalam proses estimasi cadangan batubara, harga jual memiliki peranan penting. Risiko ekonomi yang menjadi bahasan dalam penelitian ini adalah risiko pasar yang berhubungan dengan fluktuasi harga jual batubara.

Secara garis besar penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan jumlah cadangan batubara yang optimal menggunakan metode *binomial lattice* dengan memperhitungkan fluktuasi harga jual sebagai risiko ekonominya. Sehingga akan didapatkan sebuah bukaan pit optimum dengan *Net Present Value* (NPV) tertinggi.

Volatilitas mewakili pergerakan laju perubahan harga yang dapat terjadi selama umur tambang. Pergerakan ini adalah sumber risiko dari suatu proyek. Semakin besar nilai volatilitas maka membuat proyek lebih berisiko. Dalam hal ini, semakin tinggi nisbah pengupasan maka selisih nilai NPV saat harga rendah dan harga tinggi akan semakin besar.

Dalam penelitian ini dilakukan simulasi menggunakan metode *discounted cash flow* (DCF) dan metode *binomial lattice*. DCF sangat umum digunakan, namun metode ini memiliki kelemahan yaitu tidak mempertimbangkan fluktuasi harga jual yang mungkin terjadi. Keputusan dalam DCF diambil dengan nilai sekarang dengan aliran kas yang relative konstan sampai masa mendatang. Sedangkan di sisi lain,

metode *binomial lattice* memiliki kemampuan untuk memperhitungkan ketidakpastian variabel tersebut. Berdasarkan studi kasus Blok Utara PT WSL, *binomial lattice* menghasilkan cadangan optimum 17% lebih tinggi daripada nilai cadangan optimum yang dihasilkan evaluasi DCF.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan berupa alternatif kepada perusahaan pertambangan batubara dalam melakukan valuasi keekonomian tambang dengan mempertimbangkan fluktuasi harga jual sehingga mempengaruhi nilai cadangan optimal.

Kata kunci: cadangan batubara, harga jual, *discounted cash flow*, *binomial lattice*

Palembang, April 2024

Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MS., CP., IPU., ASEAN Eng.

NIP. 196211221991021001

Pembimbing II



Budhi Setiawan, ST., MT., Ph.D.

NIP. 197211121999031002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Program Studi Magister Teknik Pertambangan



Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MS., CP., IPU., ASEAN Eng.

NIP. 196211221991021001

SUMMARY

OPTIMUM COAL RESERVES ANALYSIS AGAINST FLUCTUATIONS IN COAL SELLING PRICES WITH THE BINOMIAL LATTICE METHOD

Scientific papers in the form of thesis, April 2024

Verlly Hardiman: supervised by Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, MS., CP., IPU., ASEAN Eng. dan Budhi Setiawan, ST., MT., Ph.D.

Analisis Pengaruh Fluktuasi Harga Batubara Terhadap Nilai Cadangan Optimal Dengan Metode Binomial Lattice

Vi + 78 pages, 16 tables, 27 pictures, 6 attachment

SUMMARY

Coal reserves are a reference in mine planning. The level of confidence in reserves determines the risk of economic feasibility and the guarantee of return on capital from mining operations. In the process of estimating coal reserves, selling price plays an important role. The economic risk discussed in this study is market risk associated with fluctuations in coal selling prices.

Broadly speaking, this research aims to obtain the optimal amount of coal reserves using the binomial lattice method by taking into account fluctuations in selling prices as an economic risk. So that an optimum pit opening with the highest Net Present Value (NPV) will be obtained.

Volatility represents the movement in the rate of price change that can occur over the life of the mine. This movement is the source of risk for a project. The greater the volatility value, the riskier the project. In this case, the higher the stripping ratio, the greater the difference in NPV at low and high prices.

In this study, simulations were conducted using the discounted cash flow (DCF) method and the binomial lattice method. DCF is very commonly used, but this method has the disadvantage that it does not consider fluctuations in selling prices that may occur. Decisions in DCF are taken at present value with relatively constant cash flow into the future. On the other hand, the binomial lattice method has the ability to take into account the uncertainty of these variables. Based on the case study of PT WSL's North Block, binomial lattice produces optimum reserves 17% higher than the optimum reserve value produced by DCF evaluation.

This research is expected to provide input in the form of alternatives to coal mining companies in conducting economic valuation of mines by considering fluctuations in selling prices that affect the optimal reserve value.

Keywords: coal reserves, selling price, discounted cash flow, binomial lattice

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
RINGKASAN	iii
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Cadangan Batubara	9
2.2 Analisis Break Even Stripping Ratio (BESR)	11
2.3 Evaluasi Ekonomi	14
2.3.1 Discounted Cash Flow	14
2.3.2 Real Option Valuation	18
2.3.3 Pemberian Hasil Hak (<i>Option</i>)	21
2.3.4 Harga Hak (<i>Options Value</i>)	22
2.3.5 Volatilitas	25
2.3.6 <i>Binomial Lattice</i>	26
2.4 Kerangka Pikir Penelitian	28
BAB 3 METODE PENELITIAN	31
3.1 Jenis Penelitian	31
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	31
3.3 Pelaksanaan Penelitian	33
3.3.1 Studi Literatur	34
3.3.2 Pengumpulan Data	34
3.3.3 Pengolahan Data	35
3.3.4 Analisis Data	35
3.4 Kemutakhiran (State of The Art) Penelitian	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Penelitian	37
4.1.1 Validasi Model	37
4.1.2 Validasi Kualitas	43

4.1.3	Estimasi Batas Ekonomi Break Even Stripping Ratio	44
4.1.4	Pit Optimasi.....	47
4.1.5	Target Produksi	50
4.1.6	Logistik Batubara	51
4.1.7	Biaya Penambangan	51
4.1.8	Evaluasi Discounted Cash Flow	52
4.1.9	Evaluasi Binomial Lattice	61
4.2	Pembahasan	73
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		77
5.1.	Kesimpulan.....	77
5.2.	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA		79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konsep Pit Optimasi	11
Gambar 2.2 Diagram pohon untuk pembelian dan penggunaan option.....	21
Gambar 2.3 Ilustrasi pemberian hak option	22
Gambar 2.4 Ilustrasi ketidakpastian harga dengan fleksibilitas proyek.....	23
Gambar 2.5 Binomial lattice	27
Gambar 2.6 Kerangka Pikir Penelitian.....	30
Gambar 3.1 Peta Lokasi dan Kesampaian Daerah PT WSL.....	32
Gambar 3.2 Kemutakhiran (State of The Art) Penelitian	36
Gambar 4.1 Peta Topografi di lokasi penelitian.....	37
Gambar 4.2 Diagram pencar deviasi hasil pemodelan <i>roof</i> batubara	39
Gambar 4.3 Diagram pencar deviasi hasil pemodelan <i>floor</i> batubara	39
Gambar 4.4 Diagram pencar deviasi hasil pemodelan <i>thickness</i> batubara	40
Gambar 4.5 Peta sebaran titik bor di lokasi penelitian.....	41
Gambar 4.6 Penampang Melintang Model Batubara.....	42
Gambar 4.7 Diagram Pencar Hubungan antara <i>Ash</i> dan <i>Caloric Value</i>	43
Gambar 4.8 Constraint Permukaan dan BESR (Break Even Stripping Ratio)	46
Gambar 4.9 Pemilihan <i>Pit shell</i> Optimum berdasarkan <i>Cummulative Margin</i>	47
Gambar 4.10 Bentuk 3 Dimensi <i>Pit shell</i> OPT-019.....	48
Gambar 4.11 <i>Pit shell optimum</i> berdasarkan BESR	49
Gambar 4.12 Historikal harga batubara berdasarkan Harga Batubara Acuan	53
Gambar 4.13 Historikal harga batubara berdasarkan Indonesia Coal Index.....	54
Gambar 4.14 Arus Kas	55
Gambar 4.15 EBITDA	56
Gambar 4.16 Grafik NPV dari 28 <i>pit shell</i> tanpa diskon harga jual batubara	61
Gambar 4.17 Grafik NPV DCF dengan <i>option value binomial lattice</i>	70
Gambar 4.18 Peta pit shell optimum berdasarkan DCF.....	71
Gambar 4.19 Peta pit shell optimum berdasarkan <i>binomial lattice</i>	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data cadangan batubara Indonesia dalam 10 tahun terakhir.....	10
Tabel 2.2 Kekurangan Metode DCF	17
Tabel 2.3 Keunggulan dan kelemahan metode <i>real option</i>	19
Tabel 2.4 Analogi <i>financial call option</i> dan <i>real option</i>	24
Tabel 3.1 Rencana Waktu Penelitian	33
Tabel 4.1 Kualitas batubara insitu.....	44
Tabel 4.2 Target produksi pertahun untuk Pit Shell OPT-019.....	50
Tabel 4.3 Model ekonomi <i>Discounted Cash Flow</i>	57
Tabel 4.4 Perbedaan NPV Tanpa Diskon Harga Jual dari <i>pit shell</i> berbeda.....	59
Tabel 4.5 IRR untuk Berbagai Hasil Optimasi	60
Tabel 4.6 Perhitungan Laju Pertumbuhan Rata-rata	62
Tabel 4.7 Perbedaan NPV pada metode DCF antara harga jual sebelum diskon dengan harga jual setelah diskon menggunakan persentase volatilitas.....	63
Tabel 4.8 Proyeksi harga batubara sampai akhir tambang <i>binomial lattice</i>	65
Tabel 4.9 Arus kas <i>Binomial Lattice</i> salah satu skenario <i>Pit Shell</i> OPT-009	66
Tabel 4.10 <i>Bacward induction binomial lattice</i> skenario <i>pit shell</i> OPT-009.....	68
Tabel 4.11 <i>Strategic NPV</i> untuk setiap skenario <i>Pit Shell</i>	69

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A. Historikal Harga Jual Batubara
- Lampiran B. Data-Data Biaya
- Lampiran C. Hasil 3 Dimensi Pit Optimasi
- Lampiran D. *Weighted Average Cost of Capital (WACC)*
- Lampiran E. Simulasi *Discounted Cash Flow* Setiap *Pit Shell*
- Lampiran F. Simulasi *Binomial Lattice* Setiap *Pit Shell*

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu produsen dan eksportir batubara terbesar di dunia. Berdasarkan situs resmi Minerba One Data Indonesia (MODI) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), realisasi produksi batubara Indonesia tercatat mencapai 685,74 juta ton pada tahun 2022. Jumlah ini naik hampir lima kali lipat dalam 10 tahun terakhir. Jumlah produksi batubara nasional sempat turun sekitar 8,2 persen pada tahun 2020 dan mulai mengalami peningkatan kembali pada tahun 2021 dan seterusnya. Secara tren, produksi batubara terbesar selama 10 tahun terakhir adalah pada tahun 2023 yang mencapai 768,41 juta ton. Sedangkan, produksi batu bara terendah dalam rentang waktu yang sama pada 2014, yakni 163,97 juta ton.

Berdasarkan publikasi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia tahun 2022, cadangan batubara nasional terverifikasi yang tercatat adalah sebesar 35,05 miliar ton. Cadangan tersebut diperkirakan habis dalam waktu lebih kurang 45 tahun mendatang apabila tingkat produksi saat ini diteruskan dan tidak ada penambahan cadangan baru. Cadangan batubara (*coal reserves*) adalah acuan utama dalam melakukan perencanaan tambang. Tingkat keyakinan cadangan yang diestimasi akan menentukan risiko kelayakan ekonomi dan garansi bagi pengembalian modal (*capital investment*) dari perusahaan suatu tambang. Secara terminologi berdasarkan SNI 5015 tahun 2019, Kode KCMI 2017, dan JORC 2012, cadangan batubara adalah bagian dari sumberdaya batubara yang bernilai ekonomis serta layak dan/atau menguntungkan untuk ditambang.

Berkaitan dengan cadangan batubara global, Indonesia saat ini menempati peringkat ke-7 dengan sekitar 3,2 persen dari total cadangan batubara global terbukti (BP, 2021). Indonesia memiliki cadangan batubara kualitas menengah dan rendah yang melimpah. Sekitar 60 persen dari cadangan batubara total Indonesia terdiri dari batubara kualitas rendah yang lebih murah (*sub-bituminous*) dengan nilai kalori kurang dari 6100 cal/gram.

Kenaikan harga komoditas pada era 2000-an menghasilkan keuntungan yang signifikan bagi perusahaan-perusahaan tambang batubara. Kenaikan harga tersebut sebagian besar juga dipicu oleh pertumbuhan ekonomi di negara-negara berkembang. Situasi yang menguntungkan ini berubah ketika terjadi krisis keuangan global pada tahun 2008 saat harga-harga komoditas menurun begitu cepat. Indonesia terkena pengaruh faktor-faktor eksternal ini dikarenakan terutama untuk komoditas batubara dan minyak sawit berkontribusi sekitar 50 persen dari total ekspor Indonesia, sehingga membatasi pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB) tahun 2009 sampai 4,6 persen. Penurunan aktivitas ekonomi global berdampak pada turunnya permintaan batubara, sehingga menyebabkan penurunan harga batubara yang tajam dari awal tahun 2011 sampai pertengahan tahun 2016.

Untuk dapat mengoptimalkan laba yang ingin dicapai perlu dilakukan analisis keekonomisan tambang berdasarkan nilai *market* penjualan dan kondisi ekonomi global. Analisis tersebut dapat memberikan arahan pada pelaku usaha untuk mengambil langkah yang tepat sehingga memastikan bahwa kegiatan pertambangan tetap menghasilkan laba yang optimal ditengah-tengah kondisi harga komoditas pertambangan global yang selalu berubah.

Dalam melakukan kajian keekonomian kita bisa menggunakan beberapa metode yaitu *Discounted Cash Flow* (DCF) dan *Real Option Valuation*. Evaluasi ekonomi yang umum dan lazim digunakan saat ini oleh hampir keseluruhan perusahaan tambang dalam melakukan estimasi cadangan terhadap bahan galiannya adalah dengan metode DCF. Menurut Pedoman Evaluasi Ekonomi Teknis pada Proyek Industri Mineral yang dikeluarkan oleh The Australian Institute of Mining and metallurgy tahun 2012, praktik valuasi *discounted cash flow* mudah dipahami dan cepat diadopsi. Karena sifat dari metode ini sangat sensitif terhadap perubahan kecil dalam tingkat diskonto dan asumsi tingkat pertumbuhan. Metode DCF memperhitungkan *net present value* (NPV) dan *internal rate of return* (IRR) dari aliran kas berdasarkan harga jual komoditas bahan galian yang dianggap relatif konstan dan dengan menetapkan *discount factor*, meskipun dalam kenyataannya terjadi fluktuasi harga yang cukup tinggi dan signifikan (AusIMM, 2012).

Menurut (Martinez, 2012) pada kebanyakan tambang, khususnya tambang terbuka, estimasi cadangan yang dilakukan belum memperhitungkan ketidakpastian

ekonomi, dimana harga komoditas batubara menjadi alasan utama dari ketidakpastian tersebut. Ketidakpastian harga jual akan mempengaruhi perencanaan tambang kedepannya dalam menentukan ultimate pit limit dengan nisbah pengupasan tertentu (Akbari et al., 2009).

Dalam penelitian ini digunakan metode *Binomial Lattice* yang merupakan bagian dari *Real Option Valuation* dengan memperhitungkan unsur ketidakpastian sehingga hasil yang diperoleh dapat lebih optimal. Alasan menggunakan metode *binomial lattice* karena metode ini mempertimbangkan hal yang tidak dapat dilakukan oleh DCF, yaitu faktor fleksibilitas (Kietowibowo et al., 2023). Metode ini juga berguna dalam mengidentifikasi proyek yang dijalankan dalam kondisi pasar yang tidak pasti, dimana salah satunya adalah perusahaan tambang batubara yang besaran pendapatannya tidak pasti dan tidak mungkin sama setiap tahunnya. Oleh karena itu dalam penelitian kali ini digunakan metode *binomial lattice*.

Penelitian ini akan mengkaji nilai cadangan optimal pada penambangan batubara yang dilakukan dengan metode tambang terbuka. Nilai optimal akan diperoleh melalui simulasi menggunakan kisi binomial (*binomial lattice*) dengan memperhitungkan fluktuasi harga jual sebagai risiko ekonominya. *Binomial lattice* adalah metode diskrit dalam menilai harga opsi yang memberikan kemungkinan jalur yang berbeda dari aset dasar (dalam hal ini cadangan batubara) yang mungkin ditambah selama umur izin. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa harga jual untuk periode berikutnya akan bergerak ke dalam dua kemungkinan nilai, baik naik atau turun (Sudding and Kalla, 2021).

Penelitian ini merujuk pada penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Setiady Ikhsani dan Yunieta Nainggolan dengan judul "*Real Option Valuation of Coal Mining Project Using Binomial Lattice Model*" yang dipublikasikan pada tahun 2021 melalui Asia Pasific Journal of Advanced Business and Social Studies. Penelitian tersebut mengkaji tentang perbedaan valuasi ekonomi sebuah tambang batubara secara keseluruhan dimana nilai cadangannya sudah didapatkan dan atau ditentukan terlebih dahulu.

Dalam penelitian ini akan dilakukan kajian dan atau simulasi secara terbalik jika menggunakan model finansial dengan metode *binomial lattice* untuk mendapatkan nilai cadangan yang optimal dari suatu tambang, karena terminologi

cadangan adalah bagian dari sumberdaya batubara yang memiliki nilai ekonomis untuk dilakukan penambangan. Penelitian ini diharapkan menghasilkan nilai evaluasi suatu proyek yang lebih dalam karena memperhatikan variabel lain yang tidak terakomodir dalam metode DCF. Diharapkan kedepannya dengan menggunakan metode ini, pelaku usaha pada tambang terbuka batubara dapat memiliki alternatif dalam melakukan valuasi ekonomi terhadap cadangan batubara dengan menggunakan kombinasi antara metode DCF dengan kisi binomial, sehingga tujuan utama dari konservasi minerba dapat diimplementasikan.

1.2 Perumusan Masalah

Pada umumnya nilai cadangan total dari sebuah pit pada tambang terbuka batubara didapatkan dari pemilihan nilai NPV tertinggi dari keseluruhan hasil pit optimasi yang diperoleh melalui perangkat lunak dengan algoritma tertentu. Proses pit optimasi menghasilkan beberapa variasi bukaan pit dengan nilai cadangan yang berbeda berdasarkan kualitas produk jual batubara yang telah ditentukan dan nilai Break Even Stripping Ratio yang telah dihitung. Kualitas produk jual batubara didapatkan dari hasil komposit dari pemodelan geologi.

NPV dari setiap hasil pit optimasi tersebut lazimnya disimulasikan dengan menggunakan aliran kas terdiskonto (*Discounted Cash Flow*) dengan memasukkan parameter biaya operasional, biaya kapital, pajak, tingkat suku bunga, royalti, dan harga jual. Biaya operasional dan biaya kapital dapat ditentukan dan/atau diestimasi secara deterministik sesuai dengan nilai kontrak penambangan yang bersifat *site specific*. Perubahan biaya dapat diantisipasi dalam perhitungan *discounted cash flow* (DCF) dengan menerapkan persentase eskalasi tahunan dan analisis sensitivitas. Begitu juga dengan besaran pajak, tingkat suku bunga, dan royalti yang telah ditetapkan secara periodik melalui regulasi yang berlaku. Parameter-parameter tersebut masih dapat dikontrol oleh pelaku usaha dan dapat diperhitungkan selama umur tambang. Sedangkan parameter harga jual batubara tidak dapat dikontrol oleh pelaku usaha. Harga jual dipengaruhi oleh kondisi pasar global sehingga bersifat sangat dinamis dan fluktuatif.

Apabila terjadi penurunan harga jual batubara yang signifikan, pelaku usaha dapat mengambil keputusan untuk menunda ataupun menghentikan kegiatan

penambangan karena proyek dianggap tidak layak untuk diteruskan. Namun potensi permasalahan justru jika mengalami kondisi sebaliknya, dimana terjadi lonjakan harga jual yang signifikan, sehingga pelaku usaha tambang batubara berlomba-lomba untuk meningkatkan produksi sebesar-besarnya yang tentunya bertujuan untuk meraup keuntungan yang lebih besar pada saat momentum harga jual yang sedang tinggi. Peningkatan produksi tersebut akan mengurangi umur tambang jika hanya mengandalkan cadangan yang telah diestimasi sebelumnya, atau berupaya untuk memperbesar pit. Dalam proses estimasi cadangan yang umum dilakukan saat ini masih menggunakan parameter nilai sekarang. Apabila terjadi lonjakan ataupun penurunan harga yang signifikan dan/atau terus menerus, menyebabkan nilai cadangan yang telah diestimasi dan batas optimum pit yang sudah dibuat menjadi tidak relevan lagi.

Permasalahan akan muncul pada saat akan memperbesar pit, dimana dalam perencanaan sebelumnya pada area yang akan diperluas tersebut telah terdapat timbunan material penutup (*out pit dump*) dan/atau infrastruktur tetap sehingga mengakibatkan tingginya nibah pengupasan (*stripping ratio*) karena aktifitas *rehandle* material timbunan dan adanya biaya yang timbul akibat dari relokasi infrastruktur. Hal tersebut sudah banyak terjadi pada tambang-tambang batubara di Indonesia. Salah satu contoh tambang yang melakukan *rehandle* material timbunan dengan volume yang sangat besar adalah PT Berau Coal Blok Lati, sedangkan salah satu contoh tambang yang melakukan relokasi infrastruktur untuk perluasan tambang adalah PT Bukit Asam UPTE yang memindahkan atau membangun infrastruktur baru dikarenakan area *town site* akan ditambang. Kondisi-kondisi tersebut idealnya dapat dimitigasi lebih awal dengan melakukan pemilihan optimasi pit yang tepat.

Pada umumnya perusahaan tambang batubara tidak dapat mengoptimalkan ultimate pit limit selama kegiatan operasional berjalan dikarenakan cadangan atau hasil pit optimasi yang dipilih berdasarkan hasil dari valuasi DCF dan hanya memperhatikan rentang sensitivitas net present value (NPV), namun tidak dapat merepresentasikan nilai cadangan yang dapat bertambah ataupun berkurang akibat fluktuasi harga jual batubara yang terjadi. Secara regulasi hal tersebut tidak sejalan dengan konsep konservasi mineral dan batubara. Dalam hal ini pit shell yang

dihasilkan dari proses pit optimasi dapat dianggap sebagai variabel tetap dengan seluruh parameter teknis yang menyertainya termasuk nilai cadangan dan stripping ratio. Sedangkan ultimate pit limit dapat dinyatakan sebagai variabel bebas dikarenakan dapat berubah sesuai dengan simulasi keekonomian yang dilakukan terhadap pit shell hasil optimasi tersebut.

Berdasarkan identifikasi permasalahan di atas, dapat dirumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan harga jual yang akan digunakan dalam evaluasi keekonomian selama umur tambang berdasarkan Harga Batubara Acuan dan volatilitas fluktuasi harga jual dalam sepuluh tahun terakhir?
2. Bagaimana melakukan pit optimasi untuk mendapatkan beberapa bukaan pit (*pit shell*) yang dapat mengantisipasi dan/atau mengakomodir apabila terjadinya lonjakan harga jual batubara dengan menggunakan metode *Discounted Cash Flow* (DCF) dan *binomial lattice*?
3. Bagaimana menentukan cadangan dan bukaan pit yang optimal serta perbandingan nilai total cadangan yang diperoleh antara hasil valuasi *pit shell* optimum versi metode DCF dengan metode *binomial lattice*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan perhitungan menggunakan formula HBA terbaru berdasarkan kualitas produk jual batubara untuk mendapatkan nilai *Break Even Stripping Ratio* (BESR) dan melakukan analisis volatilitas harga jual batubara berdasarkan fluktuasi harga dalam sepuluh tahun terakhir.
2. Mendapatkan serangkaian bukaan pit (*pit shell*) dengan nilai cadangan total dan *stripping ratio* yang bervariasi melalui proses pit optimasi yang mengacu pada BESR, serta melakukan simulasi model DCF dan *binomial lattice* dari setiap *pit shell*.
3. Melakukan pemilihan *pit shell* dengan nilai (*value*) tertinggi berdasarkan simulasi keekonomian DCF dan *binomial lattice*, untuk dijadikan *ultimate pit limit* dengan total nilai cadangan yang optimal.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan pada wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) batubara PT Wiraduta Sejahtera Langgeng, di Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan.
2. Data-data sekunder yang diperlukan dari aspek keekonomian seperti harga batubara acuan, risiko bisnis, dan pajak diperoleh dari publikasi Kementerian ESDM, Bank Indonesia, Badan Pusat Statistik, dan peraturan perundang-undangan yang berlaku di Indonesia.
3. Data teknis, biaya kapital, dan biaya operasional diperoleh secara langsung dari pihak pemegang IUP dan/atau perusahaan jasa di PT WSL.
4. Pengolahan data dan perhitungan dalam penelitian ini difokuskan hanya pada pit optimasi, pembuatan model ekonomi DCF, proses *real option* dan *binomial lattice*, sampai dengan penentuan *pit shell* akhir.
5. Perhitungan peralatan tambang dibatasi hanya sampai kebutuhan unit dan tidak dilakukan perhitungan biaya peralatan secara rinci karena satuan biaya penambangan akan diperoleh secara langsung dari pemegang IUP atau perusahaan jasa pertambangan berdasarkan nilai kontrak aktual.
6. Penelitian tidak mempertimbangkan faktor sosial. Biaya program pemberdayaan masyarakat (PPM) tidak dihitung secara terpisah, melainkan sudah termasuk dalam biaya operasional per ton batubara berdasarkan dokumen, laporan, dan/atau kajian dari perusahaan yang telah disetujui pemerintah.
7. Biaya pengelolaan dan pemantauan lingkungan serta biaya reklamasi dan pascatambang tidak dihitung secara terpisah, melainkan sudah termasuk dalam biaya operasional per ton batubara berdasarkan dokumen, laporan, dan/atau kajian dari perusahaan yang telah disetujui pemerintah.
8. Biaya-biaya terkait keselamatan pertambangan (KP) tidak dihitung secara terpisah, melainkan sudah termasuk dalam biaya operasional per ton batubara berdasarkan dokumen, laporan, dan/atau kajian dari perusahaan yang telah disetujui pemerintah.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara akademik maupun praktis sebagaimana berikut:

1. Manfaat akademis dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap sektor pertambangan berdasarkan pengembangan dari penelitian-penelitian terdahulu yang mengkaji tentang metode *real option* dengan penyesuaian terhadap kondisi dan regulasi yang berlaku saat ini.
2. Dari segi aplikasi dalam perusahaan tambang terbuka batubara, penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan berupa alternatif kepada perusahaan pertambangan khususnya IUP batubara dalam melakukan valuasi keekonomian tambang dengan mempertimbangkan potensi perubahan harga jual yang sangat mungkin terjadi sehingga mempengaruhi nilai cadangan dari IUP tersebut.
3. Dari sisi pemenuhan terhadap regulasi, diharapkan penelitian ini dapat mendukung dan mewujudkan upaya dalam konservasi mineral dan batubara.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, M.R., 2018. Cutoff Grade Optimization Based on Maximizing Net Present Value Using a Computer Model. *Journal of Sustainable Mining* 17, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2018.04.002>
- 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.*
- AusIMM, 2012. Guidelines for Technical Economic Evaluation of Minerals Industry Projects.
- Baskoro, F.R., Takahashi, K., Morikawa, K., Nagasawa, K., 2021. System Dynamics Approach in Determining Coal Utilization Scenario in Indonesia. *Resources Policy* 73. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102209>
- BP, 2021. Statistical Review of World Energy 2021 - 70th edition.
- Capponi, L.N., Peroni, R. de L., 2020. Mine Planning Under Uncertainty. *Insights in Mining Science & Technology* 02. <https://doi.org/10.19080/imst.2020.02.555578>
- Crundwell, F.K., 2008. Finance for engineers: Evaluation and Funding of Capital Projects, *Finance for Engineers: Evaluation and Funding of Capital Projects*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-033-9>
- Dehghani, H., Ataee-Pour, M., 2013. Determination of The Effect of Economic Uncertainties on Mining Project Evaluation Using Real Option Valuation. *Int J Min Miner Eng* 4, 265–277. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2013.056850>
- Diharjo, S., Utomo, C., 2014. Analisis Investasi Proyek Pelaksanaan di Konsesi Penambangan Batubara, *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXI Program Studi MMT-ITS*.
- 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.
- Kietowibowo, J., Setiadi, M., Pranoto, W.A., 2023. Analisis Kelayakan Investasi Pembangunan Kantor Untuk Perusahaan Batu Alam Dengan Metode Real Option Valuation.
- Lee, H., 2018. The Economic Feasibility Study on Development of Coal Mine Using Real Options. *International Journal of Mining, Materials, and Metallurgical Engineering*. <https://doi.org/10.11159/ijmmme.2018.002>
- Martinez, L., 2012. Coal Mine Project Evaluation Using an Integrated Real Options Model Approach, *Mineralproduksjon*.

- Mun, J., 2006. Real Options and Monte Carlo Simulation Versus Traditional DCF Valuation in Layman's Terms, in: *Managing Enterprise Risk: What the Electric Industry Experience Implies for Contemporary Business*. Elsevier Ltd, pp. 75–106. <https://doi.org/10.1016/B978-008044949-4/50039-8>
- Rifandy, A., Sutan, S., 2018. Optimasi Pit Tambang Terbuka Batubara Dengan Pendekatan Incremental Pit Expansion, BESR dan Profit Margin. *Jurnal Geologi Pertambangan* 2.
- Savolainen, J., Rakhsha, R., Durham, R., 2022. Simulation-Based Decision-Making System for Optimal Mine Production Plan Selection. *Mineral Economics* 35, 267–281. <https://doi.org/10.1007/s13563-021-00297-w>
- Sudding, F., Kalla, Y., 2021. Estimating Lookback Price Using Monte Carlo Simulation and Binomial Lattice, in: *Proceedings of the 1st International Conference on Mathematics and Mathematics Education (ICMMEd 2020)*. Atlantis Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.2991/assehr.k.210508.092>
- Sutrisno, E., Anas, E.P., 2019. The Application of Discounted Cash Flow and Real Option Analysis Methods for Coal Mining Projects with Abandonment and Expansion Options: A Case Study of PT X in East Kalimantan, Indonesia, in: *Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Research in Social Sciences and Humanities Universitas Indonesia Conference (APRISH 2018)*. Atlantis Press. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2991/aprish-18.2019.38>
- Taleb, L., 2019. Real Option Analysis Versus DCF Valuation - an Application to a Tunisian Oilfield. *International Business Research* 12, 17. <https://doi.org/10.5539/ibr.v12n3p17>
- 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*.
- Tua, D.P., Wibowo, A.P., Rosyid, F.A., 2020. Evaluasi Cadangan Batubara Dengan Mempertimbangkan Option Value. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* 16, 139–147. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol16.No3.2020.1093>
- Yongfei, Z., Congdong, L., 2013. Decision Model of the Best Investment Opportunity in Coal Mine Project Based On Real Option, *TELKOMNIKA*.
- Yulanda, Y.A., Toha, M.T., Sjarkowi, F., 2020. Optimasi Stripping Ratio Dengan Metode Discounted Cash Flow Pada Project PLTU Mulut Tambang. *Jurnal Pertambangan* 4.
- 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, in: *AIP Conference Proceedings*. American Institute of Physics Inc. <https://doi.org/10.1063/5.0006836>