

ANALISIS INCREMENTAL PIT EXPANSION BERDASARKAN NILAI NET PRESENT VALUE (NPV) UNTUK PENENTUAN PIT LIMIT PADA TAMBANG BATUBARA

Septi Wulandari ^{1)*}, Muhammad Fadil Bellico ²⁾

^{1)*} Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta ²⁾ PT. Ansaf Inti Resources
email: septiwulandari@itny.ac.id ¹⁾, fadilbellico@gmail.com ²⁾

ABSTRAK

Penentuan batas akhir penambangan (*ultimate pit limit*) merupakan tahapan penting dalam perencanaan tambang terbuka untuk memperoleh nilai ekonomi maksimum dari suatu endapan batubara. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan *pit limit* optimal berdasarkan analisis nilai *Net Present Value* (NPV) dari beberapa skenario penambangan (*incremental pit*). Parameter ekonomi yang digunakan meliputi biaya operasional, harga jual batubara berdasarkan Harga Batubara Acuan (HBA) sebesar US\$ 81,5/ton, dan royalti sesuai dengan aturan pemerintah yang berlaku sesuai Peraturan Pemerintah No. 19 Tahun 2025 sebesar 11,5%. Analisis dilakukan pada lima skenario pit dengan *stripping ratio* (SR) berkisar antara 9,50 hingga 13,38. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa peningkatan volume batubara yang ditambang dari PIT-1 hingga PIT-3 diikuti oleh peningkatan nilai NPV, sedangkan setelah PIT-3 nilai NPV cenderung menurun. Nilai NPV tertinggi diperoleh pada PIT-3 sebesar US\$ 11,14 juta dengan produksi batubara sebesar 1,014 juta ton dan SR 11,64 bcm/t. Dengan demikian, PIT-3 ditetapkan sebagai pit limit optimal yang memberikan nilai ekonomi maksimum pada tingkat diskonto (discount rate) sebesar 14%.

Kata kunci: Incremental pit expansion, optimasi pit, NPV

INCREMENTAL PIT EXPANSION ANALYSIS BASED ON NET PRESENT VALUE (NPV) FOR DETERMINING PIT LIMIT IN A COAL MINE

ABSTRACT

Determining the ultimate pit limit is a crucial stage in open-pit mine planning to achieve the maximum economic value from a coal deposit. This study aims to determine the optimal pit limit based on the analysis of the Net Present Value (NPV) from several mining scenarios (incremental pit expansion). The economic parameters used include operational costs, coal selling price based on the Indonesian Coal Benchmark Price (Harga Batubara Acuan – HBA) of US\$ 81.5/ton, and government royalty of 11.5% in accordance with Government Regulation No. 19 of 2025. The analysis was conducted on five pit scenarios with stripping ratios (SR) ranging from 9.50 to 13.38. The results show that the increase in mined coal tonnage from PIT-1 to PIT-3 corresponds to an increase in NPV, while beyond PIT-3, the NPV tends to decline. The highest NPV is achieved at PIT-3, with a value of US\$ 11.14 million, total coal production of 1.014 million tons, and a stripping ratio of 11.64 bcm/t. Therefore, PIT-3 is identified as the optimal pit limit, providing the maximum economic value under the current cost and price conditions with a discount rate of 14%.

Keywords: Incremental pit expansion, pit optimization, NPV

PENDAHULUAN

Pertambangan merupakan industri dengan kategori padat modal dan mempunyai resiko tinggi, sehingga dalam setiap tahapan pelaksanaan diperlukan perencanaan yang matang. Setiap tahapan perencanaan bertujuan untuk menilai nilai kelayakan tambang berdasarkan pertimbangan ekonomi dan lingkungan (Sri Hartati & Kemas Moh Ade Isnaeni, 2023). Perencanaan tambang merupakan tahapan penting yang bertujuan untuk pengoptimalan pemanfaatan sumberdaya mineral dan batubara secara teknis dan ekonomis. Pada tambang terbuka, perencanaan jangka panjang menjadi tahap krusial dalam proyek penambangan guna menentukan strategi optimal dalam mengekstraksi sumber daya mineral, dengan berlandaskan pada asumsi parameter ekonomi, geologi, dan operasional (Hakim et al., 2021).

Salah satu bagian dari perencanaan tambang adalah perancangan tambang, rancangan tambang merupakan tahapan yang berkaitan dengan geometri. Dalam hal ini rancangan tambang meliputi pembuatan desain batas akhir penambangan, pembuatan tahapan penambangan (*mine sequence*), serta termasuk penjadwalan dan produksi [Wibowo Usaman, Maryanto 2019]. Sebelum rancangan tambang dibuat tahapan paling awal adalah penentuan batas akhir penambangan (*ultimate pit limit*). Penentuan *ultimate pit limit* didapatkan melalui proses optimasi pit (*pit optimization*) (Rifandy & Syamsidar, 2018). Beberapa tahapan yang dilakukan sebelum pit optimasi antara lain pembuatan model geologi, serta

model ekonomi yang akan menjadi masukan data dalam pit optimasi (Lee, 2018). Pada tahapan pit optimasi akan dibuat berbagai skenario penambangan untuk memperoleh bukaan tambang dengan nilai ekonomi yang paling menguntungkan (Peroni, 2020).

Beberapa metode yang dapat digunakan dalam penentuan *ultimate pit limit* antara lain metode Lerch-Grossman, metode *Floating Cone*, dan metode penambahan ekspansi pit (*incremental pit expansion*). Dalam perencanaan tambang terbuka untuk Batubara metode *incremental pit expansion* merupakan metode yang praktis digunakan, dengan menerapkan metode *trial and error* (Rifandy & Syamsidar, 2018). Pemilihan metode ini karena lebih efisien jika dibandingkan dengan pembuatan ulang model geologi menggunakan *software* optimasi pit yang lain (Seprizal & Yanottama, 2025). Penentuan *ultimate pit limit* menggunakan metode *incremental pit expansion* dalam penelitian ini akan digabungkan dengan perhitungan *net present value* (NPV). NPV merupakan nilai yang didapatkan dari analisis *discounted cash flow* (DCF). Nilai NPV akan menunjukkan keuntungan bersih dengan mempertimbangkan nilai waktu dari uang, berdasarkan nilai diskonto.

Tahapan penelitian akan dilakukan dengan membuat skenario-skenario pit, yang selanjutnya akan dibandingkan nilai NPVnya, dimana semakin tinggi nilai NPV maka semakin besar keuntungan yang didapatkan. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh batas penambangan yang memberikan NPV maksimum, sehingga keputusan penambangan dapat dilakukan secara optimal, efisien, dan ekonomis.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan membuat beberapa opsi atau skenario penambangan dengan nilai *stripping ratio* (SR) yang berbeda, selanjutnya akan dianalisis berdasarkan nilai *Net Present Value* (NPV) terbaik. Pengumpulan data primer dan sekunder dilakukan dalam penelitian ini. Beberapa data primer yang dilakukan antara lain pengolahan data langsung yang terkait dengan parameter teknis, pembuatan skenario pit berdasarkan SR tertentu. Sedangkan data sekunder yang dianalisis adalah literatur review terkait penentuan batas akhir penambangan, harga Batubara acuan, dan dasar penentuan biaya-biaya operasional.

Analisis *Break Even Stripping Ratio* (BESR)

Salah satu parameter utama dalam menganalisis perencanaan tambang terbuka untuk komoditas batubara adalah nilai nisbah pengupasan atau *stripping ratio* (SR). Nilai ini menunjukkan perbandingan antara volume tanah penutup atau *overburden* (OB) dengan batubara yang didapatkan. Kondisi SR dimana selisih blok memberikan keuntungan sama dengan 0 atau impas dinamakan *break even stripping ratio* (BESR) (Sasongko, 2009). BESR akan menjadi batas penambangan yang masih menguntungkan untuk dilakukan. Perhitungan BESR mengikuti rumus:

$$BESR = \frac{(1-x)s-c}{w} \quad (1)$$

Dengan nilai x menunjukkan besaran iuran atau royalti, nilai s merupakan pendapatan dari penjualan Batubara dikurangi dan nilai c yang merupakan biaya penambangan batubara selanjutnya dibagi dengan biaya pemindahan tanah penutup (w).

Discounted Cash Flow (DCF)

Analisis *discounted cash flow* (DCF) dilakukan dengan penentuan *discount rate* tertentu yang digunakan untuk men-discount arus kas yang dihasilkan dalam suatu proyek (Arista Yulanda et al., 2020). Penentuan *discount rate* ini bertujuan sebagai pertimbangan dispensi risiko karena adanya ketidakpastian dari arus kas (Sidiq & Heriyadi, 2021). *Discount rate* merupakan gabungan antara *risk discount* faktor dengan *time discount* faktor. Dari analisis DCF akan dihitung nilai kelayakan dari proyek dengan menggunakan metode *Net Present Value* (NPV). Nilai NPV menunjukkan nilai arus kas di masa depan dengan nilai uang saat ini. Suatu pit dianggap layak untuk dilakukan penambangan apabila nilai NPV nya melebihi 0, dan semakin tinggi nilai NPV maka semakin menguntungkan pit tersebut. NPV dihitung dengan rumus:

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{FCF_n}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Dengan FCF merupakan *free cash flow* pada tahun ke- n , i merupakan nilai *discount rate*, dan N adalah umur tambang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan awal dalam pembuatan *incremental pit* adalah melakukan analisis terhadap parameter ekonomi dengan melihat nilai pendapatan yang paling tinggi. Parameter ekonomi yang menjadi input dalam penelitian ini terdiri biaya operasional, harga komoditas sesuai dengan Harga Batubara Acuan (HBA), termasuk ketentuan iuran royalti yang berlaku (Shaffie & Jaaman, 2016). Biaya operasional dibagi menjadi dua yaitu biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*). Biaya langsung adalah biaya yang berkaitan langsung dengan kegiatan penambangan, sedangkan biaya tidak langsung merupakan biaya yang tidak dikaitkan langsung dengan volume produksi. Biaya langsung antara lain biaya pengupasan tanah penutup, biaya penambangan Batubara, pengolahan, pengangkutan, dan pemasaran. Biaya tidak langsung seperti biaya administrasi, biaya pengembangan masyarakat, maupun biaya lingkungan. Adapun parameter biaya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter biaya modal dan biaya operasional

Biaya Produksi - Kontraktor	Satuan	Biaya Produksi
	Price	\$/t
Biaya Langsung (<i>Direct Cost</i>)		
Biaya Pengupasan <i>Overburden</i>		
- Pemindahan OB (maks. 1km)	\$/bcm	2,18
- Blasting	\$/bcm	0,27
Total Biaya Pengupasan OB	\$/bcm	2,45
Biaya Penambangan Batubara		
Penambangan batubara (<i>coal getting</i> termasuk pengangkutan ke ROM)	\$/t	1,15
Pengelolaan <i>stockpile</i> Batubara		
a. Pengolahan, pemrosesan dan penanganan batubara (<i>crushing/processing</i>) di ROM SP	\$/t	1,26
b. Coal hauling from <i>stockpile</i> to <i>jetty</i>	\$/t-km	8,70
c. Fee penggunaan jalan angkut to <i>jetty</i>	\$/t-km	2,48
Aktivitas di <i>jetty</i>		
a. Pengelolaan batubara di <i>jetty</i>	\$/t	0,43
b. Pengangkutan batubara ke <i>Acnhor Point</i>	\$/t	4,58
Pemuatan ke <i>vessel</i>	\$/t	0,59
<i>Surveyor Independent</i> (di <i>stockpile</i> & <i>barge</i>)	\$/t	0,14
Biaya Tidak Langsung (<i>Indirect Costs</i>)		
Administrasi dan <i>overhead</i>	\$/t	8,66
Comdev / CSR	\$/t	0,19
Rehabilitasi Lingkungan	\$/t	0,11
Komisi marketing	\$/t	0,24
Royalti Pemerintah (Gar 5400)		11,5%

Biaya yang digunakan dalam penelitian ini tidak secara spesifik digunakan oleh perusahaan, namun telah dilakukan penyesuaian sehingga tetap relevan untuk analisis. Berdasarkan data tersebut total biaya pengupasan OB sebesar \$2,45/bcm, total biaya operasional untuk biaya langsung sebesar \$19,7/ton, dan biaya tidak langsung sebesar \$18,58/ton.

Batubara di daerah penelitian memiliki kualitas GAR 5470 kcal/kg, sehingga termasuk dalam HBA 1. Perhitungan Harga Patokan Batubara (HPB) dilakukan berdasarkan Kepmen ESDM No. 227 tahun 2023 dan didapatkan harga yang digunakan adalah \$81,5/ton. Sedangkan biaya royalti yang dikenakan sesuai peraturan yang berlaku, dengan kualitas kalori batubara GAR > 5.200 Kkal/kg dan harga $USD70 \leq HBA \leq USD90$ maka biaya royalti yang dikenakan sebesar 11,5% (*PP No 19 Tahun 2025 Tentang Jenis Dan Tarif Atas Penerimaan Negara Bukan Pajak*, 2025).

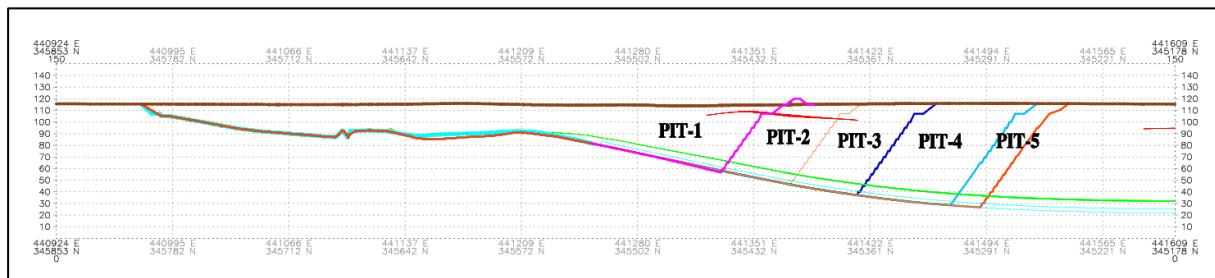
Berdasarkan biaya operasional dan harga jual Batubara dapat ditentukan nilai BESR. Nilai BESR menunjukkan kondisi impas atau margin sama dengan 0 (nol) (Hardiman et al., 2024). Perhitungan BESR sebagai berikut:

$$BESR = \frac{(1 - 0,115) \times 81,5 - 38,28}{2,45} = 13,80$$

Dari hasil perhitungan BESR selanjutnya pembuatan *pit limit* berdasarkan BESR. *Pit limit* dibuat dengan lima skenario penambangan, dengan variasi nilai SR yang berbeda. Skenario penambangan dibuat dengan nilai SR berkisar 9 sampai 13,38. Nilai SR yang semakin besar menunjukkan Cadangan Batubara yang diperoleh semakin banyak dan luas area semakin tinggi, namun pengupasan *overburden* juga semakin banyak (Fadli, Sri Widodo, 2015). Tabel 2. Menunjukkan lima skenario penambangan yang dilakukan.

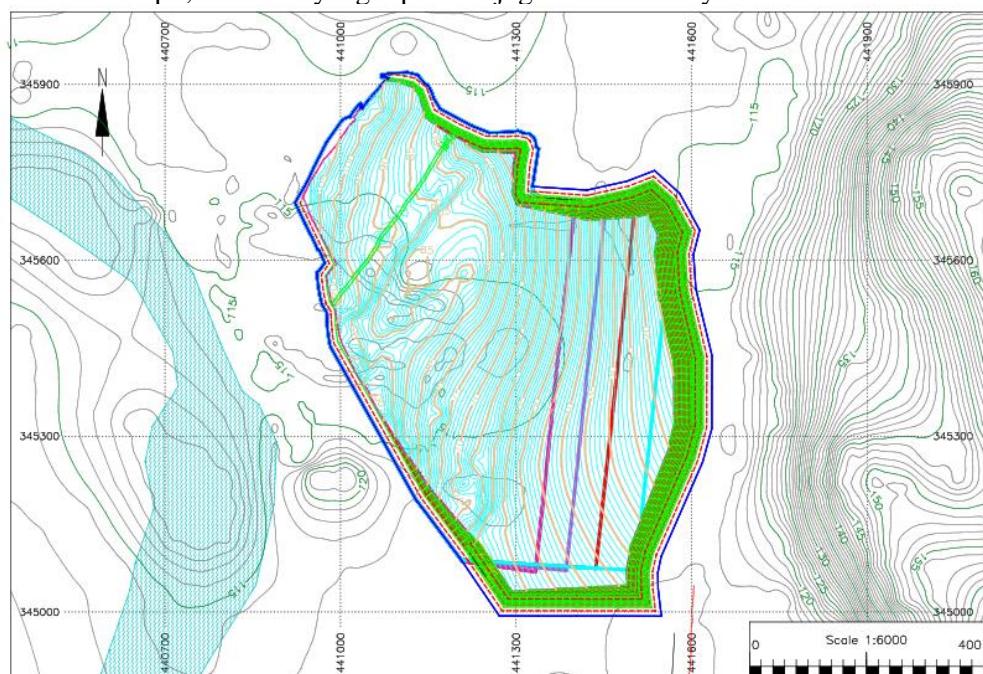
Tabel 2. Skenario penambangan

Opsi Pit	OB (kbcm)	Coal (kt)	Avg. SR (bcm/t)
PIT-1	4.738	499	9,50
PIT-2	7.055	718	9,83
PIT-3	11.804	1.014	11,64
PIT-4	14.901	1.148	12,98
PIT-5	16.728	1.251	13,38



Gambar 1. Sayatan *pit limit* dengan *incremental pit expansion*

Skenario lima *pit limit* yang dibuat diperoleh total Batubara yang berbeda-beda, dengan luasan pit yang berbeda. Luas *pit* dari masing-masing skenario adalah 26,24 ha untuk PIT-1, 29,4 ha untuk PIT-2, 32,5 ha untuk PIT-3, 36,8 ha untuk PIT-4, dan 44,5 ha untuk PIT-5. Dari kelima *pit* tersebut terlihat semakin besar ukuran pit, Batubara yang diperoleh juga semakin banyak.



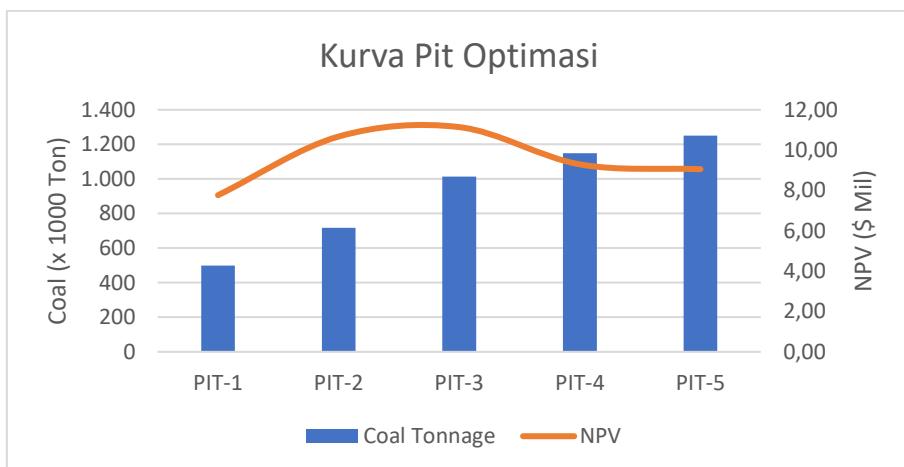
Gambar 2. Perbandingan *pit limit*

Setelah masing-masing pit dibuat, tahapan selanjutnya optimasi pit yaitu membandingkan nilai ekonomi dari masing-masing skenario penambangan. Dalam penelitian ini asumsi semua biaya telah dibuat, dan tambahan yang diberikan untuk *marketable coal reserve* digunakan sebagai dasar perhitungan biaya untuk pendapatan (*revenue*) dan juga biaya royalti sebesar 97%. Sebelum melakukan perbandingan nilai NPV untuk setiap skenario penambangan yang dibuat diperlukan nilai *discount rate*. Nilai *discount rate* yang ditentukan sebesar 14% diambil berdasarkan estimasi modal pada daerah penelitian.

Berdasarkan analisis yang dilakukan peningkatan jumlah batubara yang ditambang dari PIT-1 hingga PIT-3 diikuti oleh peningkatan nilai NPV dapat dilihat pada Tabel 3. dan Gambar 3. Nilai NPV tertinggi diperoleh pada PIT-3, yaitu sebesar US\$ 11,14 juta, dengan total produksi batubara sekitar 1,014 juta ton. Setelah skenario PIT-3, nilai NPV mengalami kecenderungan menurun meskipun jumlah batubara yang ditambang terus meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan volume *overburden* pada pit yang lebih dalam menyebabkan kenaikan biaya penambangan yang tidak lagi sebanding dengan peningkatan pendapatan, sehingga NPV total menurun.

Tabel 3. Hasil analisis optimasi pit dengan nilai NPV

Opsi Pit	OB (kbcm)	Coal (kt)	Avg. SR (bcm/t)	US\$'Million			Total Cost (US\$'Mil)	Revenue (US\$'Mil)	NPV (US\$'Mil)
				OB Cost	Coal Cost	Indirect Costs			
PIT-1	4.738	499	9,50	11,62	14,36	4,66	30,64	39,42	7,77
PIT-2	7.055	718	9,83	17,30	20,66	6,71	44,68	56,74	10,67
PIT-3	11.804	1.014	11,64	28,95	29,20	9,48	67,63	80,19	11,14
PIT-4	14.901	1.148	12,98	36,54	33,05	10,73	80,33	90,76	9,29
PIT-5	16.728	1.251	13,38	41,03	36,00	11,69	88,72	98,86	9,05



Gambar 3. Kurva Pit Optimasi

PIT-3 dapat dianggap sebagai *pit limit* optimal, karena memberikan nilai ekonomi maksimum pada kondisi harga dan biaya saat ini. Sehingga pemilihan optimasi pit di daerah penelitian adalah skenario PIT-3 dengan total OB yang harus dikupas sebanyak 11,804 juta BCM dan total Batubara yang akan diperoleh adalah 1,014 juta ton dengan SR 11,64 menghasilkan nilai NPV sebesar \$11,14 juta.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis optimasi pit dengan pendekatan *incremental pit expansion* sebanyak lima skenario penambangan yang dibuat, selanjutnya evaluasi nilai *Net Present Value* (NPV) pada tingkat diskonto sebesar 14%, dapat disimpulkan bahwa peningkatan nilai *stripping ratio* (SR) dari skenario PIT-1 hingga PIT-3 berkontribusi terhadap peningkatan nilai NPV karena volume batubara yang tertambang bertambah lebih cepat dibandingkan dengan kenaikan biaya pengupasan. Nilai NPV tertinggi diperoleh pada PIT-3 dengan NPV sebesar US\$ 11,14 juta, produksi batubara mencapai 1,014 juta ton, dan SR sebesar 11,64. Hasil skenario penambangan setelah PIT-3, peningkatan SR

menyebabkan kenaikan biaya pengupasan yang signifikan sehingga nilai NPV mulai menurun. Oleh karena itu, PIT-3 ditentukan sebagai *ultimate pit limit* yang memberikan nilai ekonomi maksimum dengan mempertimbangkan kondisi biaya operasional, harga jual batubara, serta ketentuan royalti yang berlaku saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arista Yulanda, Y., Toha, M. T., & Syarkowi, F. (2020). Optimasi Stripping Ratio Dengan Metode Discounted Cash Flow Pada Project Pltu Mulut Tambang. *Jurnal Pertambangan*, 4(3), 128–133. <https://doi.org/10.36706/jp.v4i3.470>
- Fadli, Sri Widodo, A. A. B. (2015). Desain Pit Penambangan Batubara Blok C Pada Pt. Intibuana Indah Selaras Kabupaten Nunukan Provinsi Kalimantan Utara. *Jurnal Geomine*, 01(April), 55–63.
- Hakim, A., Dwiatmoko, M. U., & Melati, S. (2021). Review Kemajuan Tambang Bulan November 2019 dan Perencanaan Tambang Bulan Desember 2019 di Tambang Terbuka Batubara. *Jurnal Geomine*, 8(3), 181. <https://doi.org/10.33536/jg.v8i3.599>
- Hardiman, V., Ibrahim, E., Setiawan, B., & Yusuf, M. (2024). Pemilihan Optimum Pit Limit Berdasarkan Volatilitas Harga Batubara Menggunakan Discounted Cash Flow. *Jurnal Pertambangan*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.36706/jp.v8i1.2260>
- Lee, H. (2018). The Economic Feasibility Study on Development of Coal Mine Using Real Options. *International Journal of Mining, Materials, and Metallurgical Engineering*, 4. <https://doi.org/10.11159/ijmmme.2018.002>
- Peroni, R. de L. (2020). Mine Planning Under Uncertainty. *Insights in Mining Science & Technology*, 02(1), 153–161. <https://doi.org/10.19080/imst.2020.02.555578>
- PP No 19 Tahun 2025 tentang Jenis dan Tarif Atas Penerimaan Negara Bukan Pajak. (2025).
- Rifandy, A., & Syamsidar, S. M. . (2018). Optimasi Pit Tambang Terbuka Batubara dengan Pendekatan Incremental Pit Expansion, BESR dan Profit Margin. *Jurnal Geologi Pertambangan (JGP)*, 2(3), 14–25. <http://ejurnal.unikarta.ac.id/index.php/jgp/article/view/578>
- Sasongko. (2009). *Pemodelan Optimasi Pit Tambang Terbuka*. Prosiding of International Conference on Eartg Science and Technology.
- Seprizal, M. F., & Yanottama, A. (2025). Rancangan Ulang Ultimate Pit Limit dengan Redesign Of The Ultimate Pit Limit Considering Fluctuations in Reference Coal Prices at Pit GAR 2900. *Jurnal Pertambangan*, 9(1), 10–19.
- Shaffie, S. S., & Jaaman, S. H. (2016). Monte Carlo on Net Present Value for Capital Investment in Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 219, 688–693. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.052>
- Sidiq, H., & Heriyadi, N. W. A. A. T. (2021). Penerapan Kecerdasan Buatan Pada Penilaian Kelayakan Ekonomi Tambang Batubara. *Kurvatik*, 6(2), 175–182. <https://doi.org/10.33579/krvtk.v6i2.2278>
- Sri Hartati, & Kemas Moh Ade Isnaeni. (2023). Kajian Ekonomi Menggunakan Metode Discounted Cash Flow Pada Penambangan Batubara Di Pit a Pt Xyz. *Juremi: Jurnal Riset Ekonomi*, 2(4), 579–588. <https://doi.org/10.53625/juremi.v2i4.4700>