



**OPTIMASI PIT LIMIT BATUBARA DENGAN ANALISIS *BESR*
BERBASIS SQL MENGACU PADA PERATURAN PEMERINTAH
NOMOR 19 TAHUN 2025**

***COAL PIT LIMIT OPTIMIZATION WITH SQL-BASED *BESR* ANALYSIS
REFERS TO GOVERNMENT REGULATION NO. 19 OF 2025.***

F. A. D. Suparno^{*1}, M. B. Ardyansyah², J. F. Irawan³

¹⁻³Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember

¹⁻³Jl. Kalimantan Tegal Boto, No. 37, Sumbersari, Jember

e-mail: ^{*}fanteri.teknik@unej.ac.id, ²muhammadbayuardyansyah@gmail.com, ³januar.teknik@unej.ac.id

ABSTRAK

Peraturan tarif royalti batubara di Indonesia mengalami perubahan sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 2025. Peraturan harga batubara sebelumnya juga berubah sesuai Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 72.K/MB.01/MEM.B/2025. Perubahan tersebut untuk penyesuaian acuan jenis dan tarif bagi pemegang izin operasi produksi. Biaya penambangan seperti royalti dan harga batubara merupakan parameter penting dalam optimasi *pit* untuk perencanaan tambang. Penelitian bertujuan untuk optimasi perencanaan *pit limit* batubara dengan mengakomodasi peraturan baru untuk penyesuaian parameter tarif royalti dan harga. Metode yang digunakan yaitu optimasi *pit* berbasis *Structured Query Language* (SQL) dengan analisis *Break Even Stripping Ratio* (*BESR*) berdasarkan peraturan baru tentang tarif royalti dan harga batubara menggunakan *software* pemodelan tambang dengan algoritma Lerchs-Grossman. Berdasarkan rata-rata Harga Batubara Acuan, kualitas batubara aktual, laporan Rencana Kerja dan Anggaran Biaya perusahaan serta peraturan royalti dan harga batubara baru diperoleh nilai *BESR* sebesar 22,03 USD/ton. Hasil optimasi *pit* berbasis SQL memilih *pit shell* 5% sebagai *pit limit* dengan perolehan batubara sebesar 2.197.564.001 ton dan nilai *Stripping Ratio* (*SR*) kumulatif 11,19.

Kata kunci: *pit limit*, royalti, harga batubara, SQL, Lerchs-Grossman

ABSTRACT

The coal royalty tariff regulation in Indonesia has changed according to Government Regulation Number 19 of 2025. The previous coal price regulation also changed according to the Ministerial Decree of Energy and Mineral Resources Number 72.K/MB.01/MEM.B/2025. The change is to adjust the type and tariff reference for production operation permit holders. Mining costs such as royalties and coal prices are important parameters in *pit* optimization for mine planning. The study aims to optimize coal *pit limit* planning by accommodating new regulations for adjusting royalty and price tariff parameters. The method used is *Structured Query Language* (SQL) based *pit* optimization with *Break Even Stripping Ratio* (*BESR*) analysis based on new regulations on royalty rates and coal prices using Lerchs-Grossman algorithm in mining modeling software. Based on the average Reference Coal Price, actual coal quality, the company's Work Plan and Budget report and new royalty and coal price regulations, the *BESR* value is 22.03 USD/ton. The results of SQL-based *pit* optimization selected a 5% *pit shell* as the *pit limit* with a coal yield of 2,197,564,001.00 tons and a cumulative *Stripping Ratio* (*SR*) value of 11.19 bcm/ton.

Keywords: *pit limit*, royalty, coal price, SQL, Lerchs-Grossman

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara sebagai produsen dan eksportir batubara terbesar di dunia. Menurut

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) jumlah cadangan batubara di Indonesia diperkirakan akan habis dalam waktu 83 tahun mendatang jika laju produksi tetap konstan seperti sekarang [1]. Jumlah

cadangan batubara yang melimpah tersebut berhubungan dengan meningkatnya pertumbuhan industri pertambangan di Indonesia. Pertumbuhan industri pertambangan komoditas batubara di Indonesia dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir menunjukkan peningkatan yang pesat. Hal tersebut terjadi karena permintaan batubara untuk pasokan energi di masa transisi energi bersih meningkat [2].

Keberadaan industri pertambangan tentu memberikan dampak ekonomi terhadap wilayah operasinya. Dampak tersebut dapat berupa pendapatan wilayah melalui pungutan pajak penjualan dan royalti untuk komoditas yang ditambang [3]. Ketentuan tarif royalti batubara di Indonesia mengalami perubahan pada bulan April Tahun 2025 dengan mengacu pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 19 Tahun 2025 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Perubahan tersebut bertujuan untuk penyesuaian jenis dan tarif atas jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) pada Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) sesuai kondisi saat ini [4]. Pada bulan Februari tahun 2025 juga terjadi perubahan peraturan harga batubara dengan mengacu pada Keputusan Menteri ESDM Nomor 72.K/MB.01/MEM.B/2025 tentang Pedoman Penetapan Harga Patokan Untuk Penjualan Komoditas Mineral Logam dan Batubara. Tujuan perubahan tersebut dilakukan karena pada peraturan sebelumnya dinilai kurang efektif untuk dijadikan acuan oleh pemegang izin operasi produksi dalam penjualan batubara [5].

Perencanaan tambang merupakan tahap awal sebelum dilakukannya penambangan. Salah satu tahapannya yaitu optimasi *pit* untuk penentuan *pit limit* atau batas penambangan paling ekonomis. *Pit limit* tersebut nantinya digunakan untuk perancangan desain *pit* batubara yang dapat ditambang secara teknis maupun ekonomis. Biaya penambangan dan harga jual batubara merupakan parameter yang sangat berpengaruh dalam optimasi *pit*. Parameter biaya penambangan seperti royalti dan harga jual tersebut tentu harus disesuaikan dengan peraturan yang ada [6].

Pada penelitian tentang optimasi *pit* tambang batubara sebelumnya, parameter royalti batubara ditentukan dengan mengacu pada PP Nomor 26 Tahun 2022 tentang Perlakuan Perpajakan dan/atau Penerimaan Negara Bukan Pajak di Bidang Usaha Pertambangan Batubara yang diatur berdasarkan status perizinan perusahaan [7]. Perubahan peraturan tarif royalti dan harga batubara yang terjadi saat penelitian ini dilakukan tentu dapat mempengaruhi hasil optimasi *pit* berupa perubahan batas penambangan. Penggunaan peraturan tarif royalti dan harga batubara terbaru belum terakomodir pada penelitian-penelitian sebelumnya tentang optimasi *pit* tambang batubara.

Optimasi *pit* banyak menggunakan algoritma Lerchs-Grossman (LG). Metode LG merupakan algoritma fundamental dalam optimasi *pit* limit yang digunakan secara luas dalam perencanaan tambang terbuka untuk menentukan batas akhir penambangan yang paling ekonomis. Prinsip dasar metode ini adalah penerapan teori graf berarah tertimbang, di mana setiap blok tambang direpresentasikan sebagai simpul (node) dengan nilai ekonomi tertentu, dan hubungan antarblok direpresentasikan sebagai busur (arc) yang menggambarkan batasan geoteknis atau ketergantungan penambangan. Lerchs dan Grossman [8] mengembangkan algoritma ini untuk memaksimalkan nilai bersih tambang (Net Value) dengan mempertimbangkan keterurutan penambangan (precedence constraint). Dalam praktiknya, metode LG menjadi dasar bagi banyak perangkat lunak tambang modern seperti GEOVIA Whittle, Datamine NPV Scheduler, dan Minex Pit Optimizer, yang menggunakan model blok tiga dimensi dan parameter ekonomi seperti harga komoditas, biaya pengupasan, serta *discount factor* untuk menghitung *ultimate pit limit* secara iteratif [9].

Dalam implementasinya, optimasi *pit* limit berbasis LG membutuhkan manajemen data blok tambang yang efisien, karena proses iterasi melibatkan ribuan hingga jutaan blok dengan berbagai atribut ekonomi dan teknis. Di sinilah *Structured Query Language* (SQL) memainkan peran penting sebagai sistem manajemen basis data (DBMS) untuk menyimpan, mengelola, dan memanggil data blok secara terstruktur. Dengan SQL, data input seperti nilai bijih (ore value), *strip ratio*, serta parameter ekonomi dapat dimanipulasi secara dinamis untuk menghasilkan berbagai skenario optimasi. Penggunaan SQL dalam integrasi dengan perangkat lunak optimasi *pit* (misalnya Minex atau Whittle) memungkinkan proses iterasi data otomatis, di mana pengguna dapat memperbarui parameter ekonomi atau geometrik tanpa perlu melakukan input manual secara berulang. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi waktu pemrosesan, tetapi juga memperkuat validitas hasil optimasi karena setiap iterasi didasarkan pada data yang konsisten dan terdokumentasi dengan baik [10].

Optimasi *pit limit* tambang batubara banyak menggunakan metode pembuatan blok dan perhitungan SR di awal sebagai gambaran kasar untuk *pit limit* [11]. Selain itu ada penyamarataan nilai parameter kualitas batubara pada setiap *seam* batubara akan menimbulkan penilaian yang bias [12]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan *ultimate pit limit* dengan mengintegrasikan SQL sebagai data input parameter kualitas, harga, dan biaya serta algoritma LG. Data input berbasis iterasi dengan menghitung kualitas masing-masing *seam* batubara sehingga penentuan *pit limit* bisa lebih detail. Penggunaan SQL bisa mempermudah integrasi peraturan terbaru dengan iterasi kualitas pada

setiap *seam* batubara sehingga mampu menghasilkan *ultimate pit limit* yang lebih detail.

METODE PENELITIAN

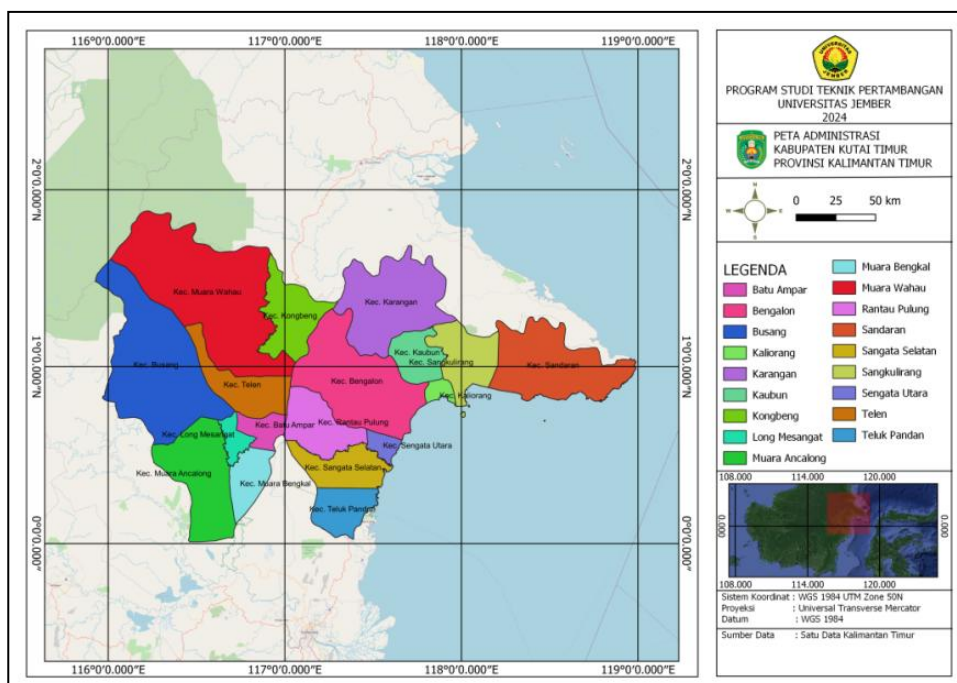
Penelitian dilakukan pada wilayah PT XYZ di Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Lokasi penelitian berjarak sekitar 150 km di utara Samarinda dan sekitar 300 km di utara Balikpapan. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Penelitian ini dilakukan selama empat bulan, mulai dari bulan Februari hingga Mei 2025.

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan dan laman Kementerian ESDM. Data-data tersebut meliputi topografi dan *model* batubara salah satu pertambangan batubara di Kabupaten Kutai Timur. Terdapat juga PP Nomor 19 Tahun 2025 sebagai acuan tarif royalti dan Keputusan Menteri ESDM Nomor 72.K/MB.01/MEM.B/2025 sebagai acuan harga batubara baru. Selain itu terdapat data Harga Batubara Acuan (HBA) dan Laporan Rencana Kerja dan Anggaran Biaya (RKAB) perusahaan sebagai acuan harga dan biaya. Terdapat juga data parameter teknis seperti kestabilan lereng dan densitas material untuk optimasi *pit*.

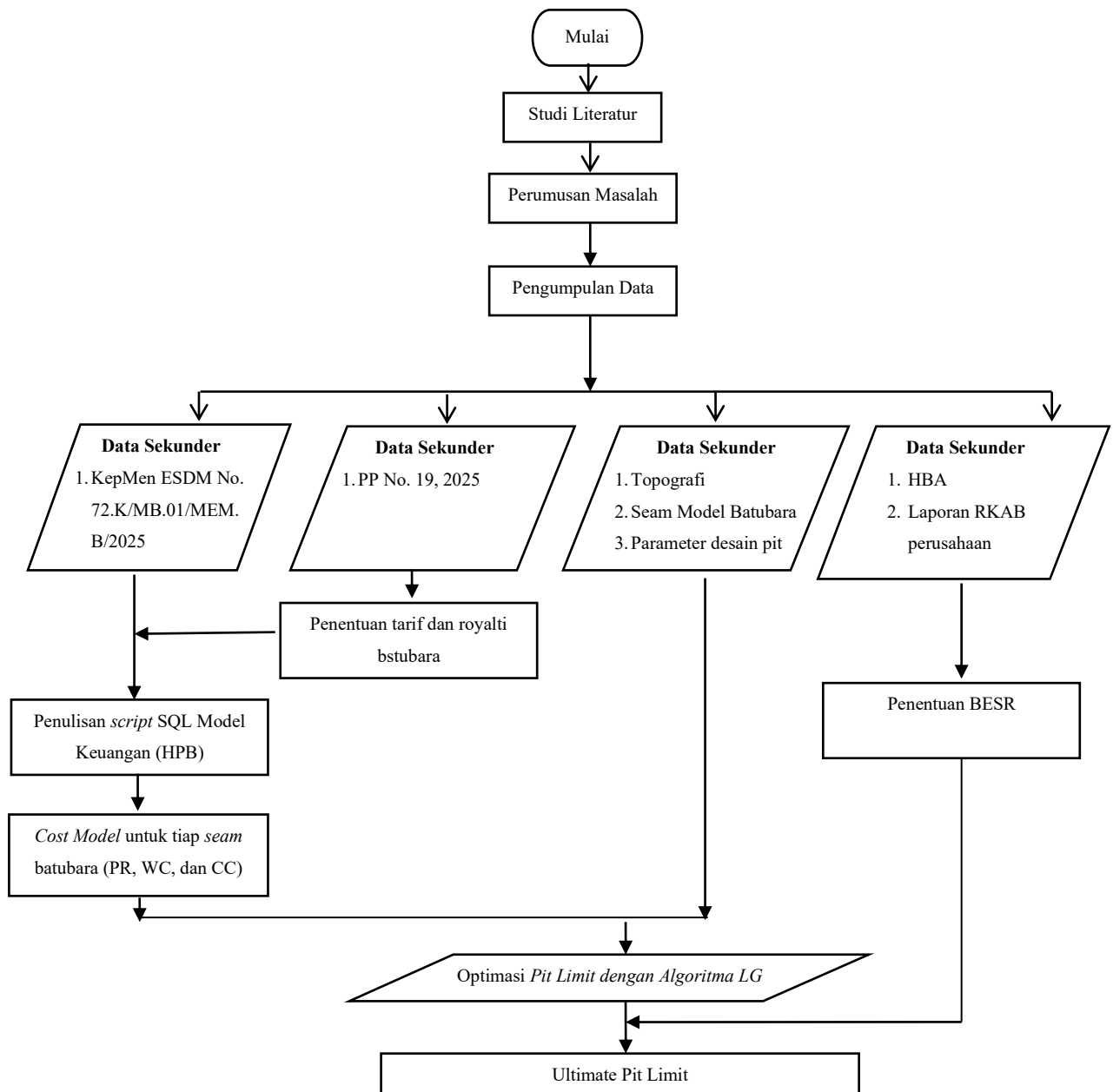
Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu optimasi *pit* dengan mengintegrasikan penggunaan *Structured Query Language* (SQL) untuk membuat *cost model* berdasarkan peraturan baru tentang tarif royalti dan harga batubara. Di dalam Kepmen 72.K/MB.01/MEM.B/2025 lampiran III terdapat lima

formula perhitungan tarif royalti dan harga batubara. Semua formula ini akan dimasukkan menjadi *script* di SQL. Hasil *running script* ini menghasilkan parameter *cost model*. *Cost model* memuat informasi spesifik mengenai karakteristik tiap *seam* batubara pada blok tertentu.

Penggunaan SQL sudah pernah diterapkan pada tambang batubara namun dengan peraturan lama yaitu PP Nomor 26 Tahun 2022 [13]. Penggunaan SQL bisa mempermudah dalam penambahan *constraint* tertentu seperti rumus HPB pada PP Nomor 19 Tahun 2025. Optimasi *pit* dilakukan menggunakan bantuan *software* pemodelan tambang dengan mengaplikasikan algoritma LG. Sebelumnya dilakukan analisis perubahan yang terjadi pada peraturan baru tentang tarif royalti dan harga batubara. Hasil analisis digunakan untuk penyesuaian parameter tarif royalti dan harga batubara dalam melakukan optimasi *pit*. Optimasi *pit* dilakukan dengan analisis *Break Even Stripping Ratio* (BESR) berdasarkan parameter royalti dan harga batubara sesuai peraturan baru. Tujuannya untuk menganalisis penyesuaian parameter tarif royalti dan harga batubara serta hasilnya pada optimasi *pit* dengan analisis BESR yang mengakomodasi peraturan baru. Penelitian ini hanya mengasumsikan studi kasus perubahan peraturan tarif royalti dan harga batubara untuk penambangan dengan metode *open pit*. Hasil dari penelitian ini perlu disesuaikan lagi dengan kondisi lokasi lain. Hal tersebut karena peraturan tarif royalti dan harga batubara menyesuaikan kesetaraan kualitas aktual. Tahapan-tahapan pada penelitian ini dilakukan secara sistematis sesuai Gambar 2.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Break Even Stripping Ratio (BESR)

Break Even Stripping Ratio (BESR) digunakan untuk menentukan batas penambangan paling ekonomis dimana jumlah pendapatan sebanding dengan jumlah pengeluaran. Parameter ekonomi yang diperlukan untuk penentuan BESR meliputi harga jual atau Harga Patokan Batubara (HPB), biaya penambangan, dan biaya pengupasan *overburden*. Nilai *Incremental Stripping Ratio* (ISR) atau perbandingan jumlah *overburden* untuk mendapatkan satu ton batubara dalam *pit shell* ekonomis harus tidak melebihi nilai BESR agar memperoleh keuntungan. BESR dapat ditentukan dengan Persamaan 1 [14].

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

Keterangan:

R = Harga jual (USD/ton)

C_{coal} = Biaya penambangan (USD/ton)

C_{OB} = Biaya pengupasan OB (USD/bcm)

Structured Query Language (SQL)

Structured Query Language (SQL) digunakan untuk mengolah, menampilkan dan memanipulasi data dalam sebuah *Relational Database Management System* (RDBMS) [15]. Penggunaan SQL dalam pertambangan khususnya pada optimasi *pit* dapat mempercepat waktu iterasi perhitungan harga jual batubara, biaya pengupasan *overburden*, dan biaya penambangan batubara. Penggunaan SQL dapat mengembangkan algoritma yang kompleks untuk menentukan batas penambangan terbaik (*ultimate pit limit*). Penentuan batas penambangan tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan faktor geologi dan ekonomi. Bagian-bagian SQL dalam *software* pemodelan tambang sebagai berikut:

1. *Macro type* atau kata kunci awalan untuk menjelaskan tipe makro jenis SQL.
2. Variabel *definitions* meliputi variabel *external*, *local* dan *global*. Variabel *external* mengacu pada *input* dan *output grid*, variabel *local* mengacu pada parameter ekonomi, dan variabel *global* untuk penyimpanan nilai perhitungan sementara.
3. *Assignment statements* untuk penetapan nilai konstanta sesuai ketentuan ke dalam suatu variabel.
4. *Selection* untuk mengevaluasi beberapa skenario seperti rentang kualitas batubara aktual secara bersamaan.
5. *Action* atau *Control Structures* untuk pemrosesan SQL. Jika kondisi benar maka menggunakan kata kunci "IF" dan jika kondisi dinyatakan salah maka tidak ada tindakan dan diteruskan ke tahap selanjutnya [16].

Optimasi Pit

Optimasi *pit* merupakan usaha menambah blok dengan besar *slope* tertentu untuk mencari keuntungan paling optimal. Hasil dari optimasi *pit* yaitu berupa *pit shell* berlapis atau beberapa rangkaian garis yang menggambarkan batas atas dan bawah tambang terbuka dengan skenario harga komoditas naik dan turun. *Pit shell* berlapis tersebut digunakan untuk menentukan batas penambangan optimal dengan perhitungan *Stripping Ratio* (SR) setiap *pit shell* atau biasa disebut *Incremental Stripping Ratio* (ISR). Nilai ISR tersebut kemudian dianalisis dengan pendekatan lereng penambangan, kondisi topografi, geologi, dan BESR (*Break Even Stripping Ratio*). Salah satu algoritma yang digunakan untuk optimasi *pit* adalah Lerchs-Grossman (LG). Perhitungan LG pada intinya adalah penjumlahan biaya dan pendapatan secara kumulatif di dalam *pit limit*. Semua parameter geometri batubara dan material penutup setiap blok dikonversi ke dalam bentuk finansial dimana biaya dinilai negatif sedangkan pendapatan dinilai positif. Setiap blok dijumlahkan secara horizontal dari atas ke bawah dan secara lateral dari kiri ke kanan. Hasil perhitungan yang bernilai positif dipilih sebagai batas *high wall* untuk *pit*. Pekerjaan tersebut dilakukan manual pada masing-masing sayatan. Untuk mempercepat waktu iterasi

optimasi *pit limit*, perhitungan dilakukan dengan *software* pemodelan tambang yang mengembangkan metode Lerchs-Grossmann dalam konsep *pit optimization* [17].

HASIL DAN PEMBAHASAN**Analisis Peraturan Baru**

Peraturan tarif royalti batubara sebelumnya mengacu pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 26 Tahun 2022. Perubahan tarif royalti yang terjadi untuk penambangan metode *open pit* berdasarkan PP Nomor 19 Tahun 2025 hanya pada dua rentang. Perubahan terjadi pada rentang ≤ 4.200 kkal/kg *Gross Air Received* (GAR) dengan Harga Batubara Acuan (HBA) ≥ 90 USD/ton yaitu sebesar 9 % dari harga jual. Selain itu perubahan terjadi pada rentang > 4.200 s.d. 5.200 kkal/kg GAR dengan HBA ≥ 90 USD/ton yaitu sebesar 11,5 % dari harga jual. Perubahan tarif royalti yang terjadi pada kedua rentang tersebut merupakan kenaikan tarif sebesar 1% dari peraturan sebelumnya.

Peraturan harga batubara juga mengalami perubahan. Peraturan harga batubara sebelumnya mengacu pada Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 227.K/MB.01/MEM.B/2023. Perubahan peraturan harga batubara yang terjadi pada Keputusan Menteri ESDM Nomor 72.K/MB.01/MEM.B/2025 hanya pada penentuan HBA. HBA pada peraturan baru ditentukan dua kali setiap bulannya dengan rentang yang sama seperti peraturan sebelumnya. Sebelumnya HBA hanya ditentukan satu kali dalam satu bulan dengan empat rentang. Penentuan HPB pada peraturan baru tetap menggunakan rentang dan formula yang sama seperti peraturan sebelumnya.

Break Even Stripping Ratio (BESR)

Parameter pertama untuk penentuan *Break Even Stripping Ratio* (BESR) yaitu harga jual atau patokan. Harga Patokan Batubara (HPB) mengacu pada Harga Batubara Acuan (HBA) dan kesetaraan kualitas aktual. Data HBA diperoleh dari rata-rata HBA bulan Agustus tahun 2023 hingga bulan November tahun 2024. Rata-rata HBA yang diperoleh meliputi nilai HBA sebesar 127,00 USD/ton, HBA 1 sebesar 88,00 USD/ton, HBA 2 sebesar 57,00 USD/ton, dan HBA 3 sebesar 34,00 USD/ton. Data HBA pada rentang waktu tersebut digunakan karena sesuai dengan laporan Rencana Kerja dan Anggaran Biaya (RKAB) perusahaan yang digunakan untuk parameter biaya. Laporan RKAB perusahaan yang digunakan pada penelitian ini yaitu tahun 2024. Selain itu juga disesuaikan dengan waktu saat penelitian ini akan dilakukan agar dapat mengasumsikan perhitungan BESR sesuai kondisi terbaru.

Lokasi yang dijadikan sebagai objek penelitian yaitu *Pit* 1 pada PT XYZ. Pada area *Pit* 1 terdapat 160 *seam* model batubara yang telah teridentifikasi kemenerusan

dan kualitasnya tahun 2024. Rata-rata kualitas setiap *seam* batubara pada *Pit 1* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata kualitas batubara pada *Pit 1*

Parameter	Jenis batubara		
	Bituminus	Subbituminus	Lignit
Jumlah <i>Seam</i>	60	74	26
Maksimal (kkal/kg)	7.303,00	5.984,37	4.986,37
Minimal (kkal/kg)	6.000,00	5.024,00	3.776,68
Rata-rata (kkal/kg)	6.397,90	5.540,59	4.674,32

Peraturan baru untuk penentuan HBA dan HPB atau harga jual untuk perhitungan BESR mengacu pada Keputusan Menteri ESDM Nomor 72.K/MB.01/MEM.B/2025 berdasarkan kualitas aktual. Rata-rata kualitas batubara aktual pada lokasi penelitian hasil kajian tersendiri memiliki nilai kalori sebesar 5.863 kkal/kg *Gross Air Received* (GAR), kandungan air sebesar 20,43%, kandungan belerang sebesar 0,65%, dan kandungan abu sebesar 3,6%. Berdasarkan rata-rata kualitas aktual jenis batubara paling banyak pada Tabel 1 dan rata-rata kualitas aktual hasil kajian tersendiri, maka HBA sesuai peraturan baru menggunakan kesetaraan 1 yaitu sebesar 88,00 USD/ton. Sedangkan penentuan harga jual atau HPB berdasarkan peraturan baru menggunakan formula untuk kategori kalori ≥ 5.300 s.d. 6.000 kkal/kg. Perhitungan harga jual batubara sesuai peraturan baru yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 HPB &= \left(88 \times \frac{5.863}{5.300} \times \frac{(100 - 20,43)}{(100 - 21,32)} \right) \\
 &\quad - ((0,65 - 0,75) \times 4 + (3,6 - 6,04) \times 0,4) \\
 &= 99,83 \text{ USD / ton}
 \end{aligned}$$

Parameter selanjutnya yaitu biaya pengupasan *overburden*. Biaya pengupasan *overburden* meliputi biaya *rate non fuel* dan *rate fuel* berdasarkan laporan Rencana Keuangan dan Anggaran Biaya (RKAB) perusahaan tahun 2024. Biaya total pengupasan *overburden* untuk perhitungan BESR berdasarkan peraturan baru tentang tarif royalti dan harga batubara yaitu 2,73 USD/bcm. Parameter untuk perhitungan BESR selanjutnya yaitu biaya penambangan yang ditentukan berdasarkan laporan RKAB perusahaan tahun 2024 dan peraturan tarif royalti untuk biaya *tax*. Rincian biaya penambangan tanpa *tax* dapat dilihat pada Tabel 2.

Biaya penambangan yang mengacu pada perubahan peraturan tarif royalti batubara yaitu *tax*. Sehingga biaya royalti pada *tax* untuk penentuan BESR berdasarkan peraturan baru mengacu pada Peraturan Pemerintah

Nomor 19 Tahun 2025 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral untuk *open pit* dengan kalori 5.863 kkal/kg GAR dan HBA sebesar 88 USD/ton dibebankan royalti sebesar 11,5% dari harga jual dikurangi biaya tongkang dan pengiriman (10,69 USD/ton). *Tax* juga mencakup biaya lain seperti biaya pemerintah daerah, *Value Added Tax* (VAT), pajak bahan bakar, dan pajak lain dengan total 7,48 USD/ton. Total biaya *tax* berdasarkan peraturan tarif royalti terbaru sebesar 18,17 USD/ton. Sehingga total biaya penambangan sebesar 39,79 USD/ton.

Berdasarkan harga jual, biaya pengupasan *overburden*, dan biaya penambangan dapat diperoleh nilai BESR dengan persamaan 1. Berdasarkan peraturan tarif royalti dan harga batubara baru serta rata-rata kualitas batubara pada lokasi penelitian diperoleh nilai BESR sebesar 22,03 USD/ton. Hasil tersebut belum tentu sama di lokasi lain karena kesetaraan kualitas aktual yang berbeda. Nilai BESR akan mempengaruhi pemilihan *pit shell* hasil optimasi *pit*. Hal tersebut karena nilai *Incremental Stripping Ratio* (SR) *pit shell* ekonomis harus tidak melebihi nilai BESR.

Tabel 2. Parameter SQL untuk optimasi *pit*

Parameter	Satuan	Harga
HBA	USD/ton	127,00
HBA 1	USD/ton	88,00
HBA 2	USD/ton	57,00
HBA 3	USD/ton	34,00
Pengupasan OB	USD/ton	2,725
Penambangan	USD/ton	1,54
Pengangkutan	USD/ton	5,95
Pemrosesan	USD/ton	0,72
Tongkang & kapal	USD/ton	6,88
Biaya lain-lain	USD/ton	6,53
<i>Tax</i>	USD/ton	18,17
Royalti 1	%	11,5
Royalti 2	%	8,5
Royalti 3	%	6

Structured Query Language (SQL)

Structured Query Language (SQL) untuk optimasi *pit* menggunakan parameter ekonomi sebagai penentu batas penambangan terbaik. Parameter ekonomi yang digunakan berdasarkan peraturan baru tentang tarif royalti dan harga batubara seperti parameter untuk penentuan *Break Even Stripping Ratio* (BESR).

Penggunaan parameter Harga Batubara Acuan (HBA) dimasukkan semua kategori kualitas sesuai Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 72.K/MB.01/MEM.B/2025. Penggunaan parameter royalti juga dimasukkan semua kategori kualitas dengan HBA 88 USD/ton sesuai Peraturan

Pemerintah (PP) Nomor 19 Tahun 2025. Hal tersebut karena SQL menyesuaikan perhitungan harga dan royalti berdasarkan kualitas setiap *seam* batubara pada lokasi penelitian yang berbeda-beda. Sedangkan untuk parameter biaya-biaya ditentukan berdasarkan laporan Rencana Keuangan dan Anggaran Biaya (RKAB) perusahaan tahun 2024 seperti pada perhitungan BESR. Parameter SQL tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Parameter ekonomi yang telah ditentukan dan beberapa persamaan yang mengacu pada peraturan dimasukkan pada bagian-bagian SQL dalam *software* pemodelan tambang sesuai literatur sebagai berikut:

1. Tipe Macro

Tipe *macro* untuk optimasi *pit* adalah “Seam Model-SQLMacro”. Hal tersebut menunjukkan optimasi dilakukan pada data *seam* model batubara. Keterangan penjelasan dan identitas SQL juga dijelaskan seperti pada Gambar 3.

```
!SeamModel-SQLMacro
!-----
!SQL sesuai PP No. 19 Th. 2025 dan Kepmen ESDM No. 72.K Th.2025
!Muhammad Bayu Ardyansyah
!1 April 2025
```

Gambar 3. Tipe *macro* SQL

2. Variabel Definitions

Input variabel *external* pada SQL menggunakan data *grid models* kualitas batubara (kalori, total *moisture*, total *sulfur*, dan *ash*). Sedangkan *input* variabel *local* sesuai parameter pada Tabel 3. Pada bagian ini juga ditambahkan faktor formula Harga Patokan Batubara (HPB) sesuai Keputusan Menteri ESDM Nomor 72.K/MB.01/MEM.B/2025. *Input* variabel *external* pada *output* SQL meliputi HPB, biaya penambangan, dan biaya pengupasan *overburden* untuk setiap *seam*.

3. Assignment Statements

Statements yang dimasukkan pada SQL yaitu nilai setiap variabel yang sudah dimasukkan sebelumnya. Nilai setiap variabel sesuai parameter pada Tabel 3.

4. Selection

Penulisan skenario diawali dengan kata kunci “SELECT” dan diikuti dengan “WHERE”, “AND”, dan “NULL” yang dapat dilihat pada Gambar 4.

```
SELECT KALORI_6000
WHERE K > 6000
AND K # NULL
AND TM # NULL
AND TS # NULL
AND ASH # NULL
```

Gambar 4. *Selection*

Gambar 4 menunjukkan *selection* skenario dengan kondisi nilai kalori jika berada pada rentang > 6.000 kkal/kg dengan nilai parameter tidak sama dengan “NULL” atau kosong begitu juga pada kategori lain sesuai pada Keputusan Menteri ESDM Nomor 72.K/MB.01/MEM.B/2025. Pada bagian ini juga dituliskan formula perhitungan HPB, royalti, biaya penambangan, dan pengupasan *overburden* sesuai kualitas untuk setiap *seam*. Formula HPB mengacu pada Keputusan Menteri ESDM Nomor 72.K/MB.01/MEM.B/2025.

5. Action atau Control Structures

Bagian ini digunakan untuk mengeksekusi SQL dan menunjukkan bagian-bagian SQL benar atau salah.

Bentuk algoritma SQL untuk optimasi *pit* telah mempertimbangkan faktor geologi dan ekonomi sesuai peraturan. Hasil rata-rata SQL dari 160 *seam* menggunakan *software* pemodelan tambang berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 2025 Tentang Tarif Royalti dan Harga Batubara dapat dilihat pada Tabel 3. Pada tabel tersebut terdapat dua kode huruf yaitu “PR” untuk HPB, “WC” untuk biaya pengupasan *overburden*, dan “CC” untuk biaya penambangan untuk 160 *seam* batubara. Hasilnya menunjukkan HPB dan biaya penambangan menyesuaikan rata-rata kualitas aktual yang relatif tinggi. Setiap *seam* batubara memiliki kualitas yang berbeda baik dari segi nilai kalori (CV), total lengas (TM), kandungan sulfur, dan abu. Tabel 3 merangkum nilai statistik dari 160 *seam* batubara yang nantinya akan dipakai untuk tahap optimasi *pit*. Sebagai contoh dengan merujuk kembali Tabel 1, untuk *seam* batubara dengan nilai kalori 7.303 kkal/kg setelah dilakukan iterasi memiliki nilai jual maksimal (PR) sebesar 111,93 USD/ton. Untuk *seam* tersebut, biaya pengupasan *overburden* (WC) mencapai 2,72 USD/ton dan penambangan batubara (CC) mencapai 39,27 USD/ton. Nilai jual batubara (PR) selain berdasarkan pada kalori, juga didasarkan pada 3 kualitas lainnya seperti lengas, abu, dan sulfur. Hal ini akan berbeda menyesuaikan lokasi titik bor sampel. Meskipun *seam*-nya sama, namun parameter kualitas lainnya bisa berbeda.

Tabel 3. Hasil rata-rata SQL

Output SQL	Maksimal (USD)	Minimal (USD)	Rata-rata (USD)
PR	111,93	93,15	102,98
WC	2,72	2,72	2,73
CC	39,27	35,89	37,81

Optimasi Pit

Hasil running SQL pada Tabel 3 digunakan untuk melakukan *pit optimiser* pada *software* pemodelan tambang. Pada tahap ini juga dimasukkan parameter

teknis hasil kajian tersendiri dan pit terdekat berupa parameter kestabilan lereng sebesar 20° dan densitas material insitu sebesar 1,3. Selain itu juga dilakukan pengklasifikasian minimal ketebalan *seam* yang dioptimasi yaitu 30 cm. Hasil *pit optimiser* berupa *grid prefix* dengan *discount factor* (DF) tertentu [18]. Perhitungan *discount factor* mengikuti *constraint* dari perusahaan. Pada studi kali ini nilai DF adalah 5% dimana setiap pit shell yang dapat memproyeksikan perolehan volume *overburden* dan tonase batubara. Secara singkat perhitungan DF dimulai dari blok-blok di dalam *pit shell* hasil LG. Setiap blok memiliki:

- Nilai ekonomi blok → V_i (misalnya *Net Block Value* dalam USD)
- Waktu ekstraksi → t_i (dalam tahun ke berapa diperkirakan ditambang)
- Tingkat diskonto tahunan → r (misal 10%)
- Maka nilai diskonto untuk blok ke- i :

$$DF_i = 1/(1+r)^{t_i} \quad (2)$$

- Kemudian, dihitung rata-rata berbobot per shell:

$$DF_{shell} = \sum(V_i \times DF_i) / \sum V_i \quad (3)$$

Hasil setiap *pit shell* tersebut dihitung nilai *Incremental Stripping Ratio* (ISR). Nilai ISR tersebut digunakan untuk menentukan batas penambangan paling ekonomis dengan analisis nilai *Break Even Stripping Ratio* (BESR) tanpa mempertimbangkan penjadwalan produksi. Hasil *pit optimiser* berdasarkan peraturan baru tentang tarif royalti dan harga batubara dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil tersebut merupakan *pit shell* berlapis dengan kenaikan dan penurunan harga batubara di sekitar nilai harga acuan (HPB hasil SQL) dengan kelipatan 5% [18]. Analisis BESR memilih nilai ISR yang tidak melebihi nilai BESR untuk batas penambangan ekonomis. Nilai BESR yang diperoleh sebelumnya yaitu 22,03 USD/ton. Maka *pit shell* hasil optimasi *pit* yang dipilih yaitu 5% dengan nilai ISR 18,78 bcm/ton. Pada *pit shell* tersebut menunjukkan perolehan batubara sebesar 2.197.564.001 ton dengan nilai *Stripping Ratio* (SR) kumulatif sebesar 11,19 bcm/ton.

Tabel 4. Hasil optimasi *pit*

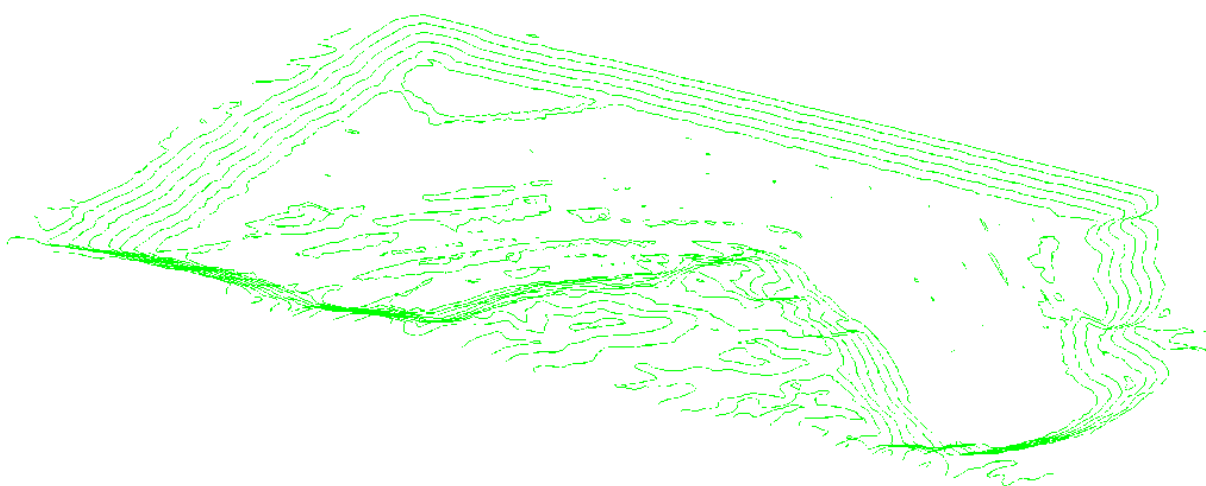
<i>Pit Shell</i>	Volume OB (BCM)	Ton Batubara (ton)	ISR	Total OB (BCM)	Total Batubara (ton)	SR
OPR050	1.194.210.007	156.918.107	7,61	1.194.210.007	156.918.107	7,61
OPR045	2.896.076.472	338.706.877	8,55	4.090.286.479	495.624.984	8,25
OPR040	5.023.625.860	464.454.439	10,82	9.113.912.339	960.079.423	9,49
OPR035	4.175.950.060	361.478.306	11,55	13.289.862.399	1.321.557.729	10,06
OPR030	5.939.880.662	503.839.050	11,79	19.229.743.061	1.825.396.779	10,53
OPR025	2.388.165.525	190.087.369	12,56	21.617.908.586	2.015.484.148	10,73
OPR020	1.351.356.300	87.971.756	15,36	22.969.264.886	2.103.455.904	10,92
OPR015	699.162.262	46.105.368	15,16	23.668.427.148	2.149.561.272	11,01
OPR010	571.589.173	28.895.484	19,78	24.240.016.321	2.178.456.756	11,13
OPR005	358.912.611	19.107.245	18,78	24.598.928.932	2.197.564.001	11,19
OPR-00	363.867.881	13.949.835	26,08	24.962.796.813	2.211.513.836	11,29
OPR-005	276.567.742	12.106.423	22,84	25.239.364.555	2.223.620.259	11,35
OPR-010	301.906.010	14.143.161	21,35	25.541.270.565	2.237.763.420	11,41
OPR-015	82.383.647	3.452.090	23,86	25.623.654.212	2.241.215.510	11,43
OPR-020	197.340.657	8.962.832	22,02	25.820.994.869	2.250.178.342	11,48
OPR-025	204.208.815	10.194.200	20,03	26.025.203.684	2.260.372.542	11,51
OPR-030	133.250.181	5.073.277	26,27	26.158.453.865	2.265.445.819	11,55
OPR-035	151.552.849	6.521.498	23,24	26.310.006.714	2.271.967.317	11,58
OPR-040	134.142.248	6.406.053	20,94	26.444.148.962	2.278.373.370	11,61
OPR-045	68.418.045	2.036.172	33,60	26.512.567.007	2.280.409.542	11,63

Pit shell 5% tersebut menunjukkan harga batubara berada pada harga batubara acuan yang digunakan sebelumnya yaitu 88,00 USD/ton. Nilai tersebut memiliki keuntungan tertinggi dengan mempertimbangkan seluruh faktor kendala teknis dan ekonomi yang dapat terjadi. Pada Tabel 4 juga menunjukkan perbandingan *pit shell* berlapis dengan kenaikan harga (berada di atas *pit shell* ekonomis) dan penurunan harga (berada di bawah *pit shell* ekonomis) sebesar 5% dari harga acuan.

Perbedaannya yaitu *pit shell* dengan kenaikan harga menunjukkan perolehan batubara lebih besar tetapi nilai ISR melebihi nilai BESR. Sedangkan *pit shell* dengan penurunan harga menunjukkan pengurangan perolehan batubara tetapi nilai ISR masih jauh dibawah BESR atau kurang maksimal. Hal tersebut menunjukkan bahwa kenaikan harga dapat memperoleh lebih banyak batubara dan penurunan harga dapat menyebabkan terjadi

penyusutan batas penambangan pada area-area dengan kualitas rendah. Perusahaan harus memantau perubahan harga dan biaya penambangan untuk menyesuaikan perencanaan secara berkala. *Pit optimiser* juga menghasilkan *grid model* pada setiap *pit shell* untuk memvisualisasikan luasan serta kedalaman setiap *pit shell* yang mencakup perolehan total *overburden* dan batubara. Penentuan *pit shell* yang optimal didasarkan pada teori nilai ISR hasil optimasi tidak boleh melebihi perhitungan BESR ekonomi [13].

Pada bagian pembahasan BESR didapatkan nilai 22,03. ISR hasil optimasi yang mendekati ini adalah 18,78 sehingga *pit shell* ini yang menjadi paling optimal dengan skenario harga dan parameter teknis yang sudah disebutkan sebelumnya. Gambar 5 menunjukkan *pit shell* Grid OPR005 yang menjadi *ultimate pit limit* setelah melewati proses optimasi dengan basis input hasil *running SQL* sebelumnya.



Gambar 5. Grid *pit shell* OPR005 sebagai *ultimate pit limit*

KESIMPULAN

Berdasarkan rata-rata HBA, kualitas model batubara, laporan Rencana Kerja dan Anggaran Biaya (RKAB) perusahaan serta peraturan royalti dan harga batubara baru diperoleh nilai *Break Even Stripping Ratio* (BESR) sebesar 22,03 USD/ton. Sehingga hasil optimasi *pit* berbasis *Structured Query Language* (SQL) memilih *pit shell* 5% sebagai *pit limit* dengan nilai ISR 18,78 bcm/ton. *Pit shell* tersebut menunjukkan perolehan batubara sebesar 2.197.564.001 ton dan nilai *Stripping Ratio* (SR) kumulatif sebesar 11,19 bcm/ton.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Afin, A. P., & Kiono, B. F. T. (2021). Potensi energi batubara serta pemanfaatan dan

teknologinya di indonesia tahun 2020–2050: gasifikasi batubara. Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan, 2(2), 144-122.

[2] Hartana, H. (2021). Eksistensi Dan Perkembangan Perusahaan Group Di Sektor Pertambangan. Jurnal Pendidikan Kewarganegaraan Undiksha, 9(3), 669-681.

[3] Wahyudin, U. (2020). Analisis Dampak Keberadaan Perusahaan Tambang Batu Bara terhadap Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat. Jurnal Atsar, 1(1), 35-45.

[4] Indonesia. (2025). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2025 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Kementerian Energi dan Sumber Daya



- Mineral. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2025 Nomor 43. Jakarta.
- [5] Menteri Energi dan Sumber Daya Republik Indonesia. (2025). Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Republik Indonesia Nomor 72.K/MB.01/MEM.B/2025 tentang Pedoman Penetapan Harga Patokan untuk Penjualan Komoditas Mineral Logam dan Batubara. Jakarta.
- [6] Abdulfattah, F. Optimasi desain PIT tambang terbuka batubara dengan metode Lerchs Grossman pada PT XYZ (Bachelor's thesis, Fakultas Sains Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).
- [7] Chandra, A. D., & Husin, H. (2025). Analisis Rekonsiliasi Model Geologi Batubara terhadap Data Aktual Penambangan untuk Optimasi Cadangan: Studi Kasus Pit 2 Blok 17 PT. Senamas Energindo Mineral. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 11(1), 22-26.
- [8] Alford, C. G., & Whittle, J. (1986, October). Application of Lerchs-Grossmann pit optimization to the design of open pit mines. In *AusIMM/IE Aust Newman Combined Group, Large Open Pit Mining Conference* (pp. 201-207).
- [9] Whittle, D., Whittle, J., Wharton, C., & Hall, G. (2005). *Strategic mine planning*. Gemcom Software International Inc.: Melbourne, Australia.
- [10] Ares, G., Castañón Fernández, C., & Álvarez, I. D. (2023). Ultimate Pit-Limit Optimization Algorithm Enhancement Using Structured Query Language. *Minerals*, 13(7), 966.
- [11] Rifandy, A., & Sutan, S. (2018). Optimasi Pit Tambang Terbuka Batubara dengan Pendekatan Incremental Pit Expansion, BESR dan Profit Margin. *Jurnal Geologi Pertambangan*, 2(24), 1-25.
- [12] Seprizal, M. F., Juventa, J., Ericson, E., & Yanottama, A. (2025). Rancangan Ulang Ultimate Pit Limit Dengan Mempertimbangkan Fluktuasi Harga Batubara Acuan Pada Pit GAR 2900. *Jurnal Pertambangan*, 9(1), 10-19.
- [13] Suparno, F. A. D., Aminah, S., Haeruddin, H., Lestari, R., Mulyani, K. D., Manek, E., & Rini, U. R. S. (2025). Determination Coal Mine Ultimate Pit Limit based on Kepmen ESDM No. 227. K/MB. 01/MEM. B/2023 and PP 26 2022. *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, 5(2), 135-141.
- [14] Putri, K. S., Triantoro, A., & Samosir, R. L. Aplikasi Ekonometrika dalam Penentuan BESR: Studi Kasus Penahapan Penambangan PT Gunungbayan Pratamacoal. *Jurnal GEOSAPTA*, 10(1), 31-38.
- [15] Setiyadi, D. (2020). Aljabar Relational dan Implementasi kedalam Bahasa Query dalam Perancangan Database Relational. *Jurnal Kajian Ilmiah*, 20(2), 213-224.
- [16] Lestari, P.I. (2024). Perencanaan Optimasi Pit Tambang Batubara Berbasis Structured Query Language (SQL) Terintegrasi pada Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2022. Skripsi. Fakultas Teknik : Universitas Jember.
- [17] Hustrulid, W. A., Kuchta, M., & Martin, R. K. (2013). *Open pit mine planning and design, two volume set & CD-ROM pack*. Crc Press.
- [18] Askari-Nasab, H., & Awuah-Offei, K. (2009). Open pit optimisation using discounted economic block values. *Mining Technology*, 118(1), 1-12.