

**PEMILIHAN METODE PENAMBANGAN BERBASIS PENDEKATAN NUMERIK
NICHOLAS (1981) DENGAN PENAMBAHAN KRITERIA LINGKUNGAN DAN SOSIAL**

2025

¹⁾ Afilia Tuhumury, S.T., ²⁾ Madaniyah, S.Si, M.Si., ³⁾Randy Zulkarnain, S.T.

¹⁾Mining Specialist, PT Minevesting Konsultan Indonesia,

²⁾Environmental Specialist, PT Minevesting Konsultan Indonesia,

³⁾Mining Specialist, PT Minevesting Konsultan Indonesia.

*E-mail: afilia@minevesting.co

ABSTRAK

Pemilihan metode penambangan merupakan keputusan fundamental dalam perencanaan tambang karena memengaruhi efisiensi biaya, keselamatan, produktivitas, dan umur tambang. Kesalahan dalam penentuan metode dapat menimbulkan kerugian ekonomi, risiko keselamatan, serta dampak lingkungan dan sosial. Nicholas (1981) memperkenalkan pendekatan numerik berbasis parameter geometri endapan, distribusi kadar, dan mekanika batuan. Penelitian ini memodifikasi pendekatan tersebut dengan menambahkan parameter lingkungan dan sosial yang relevan dengan regulasi di Indonesia, sehingga menghasilkan kerangka penilaian yang lebih holistik. Metodologi meliputi studi literatur, modifikasi model Nicholas, pengumpulan data studi kasus, analisis numerik, serta interpretasi hasil. Studi kasus dilakukan pada salah satu tambang emas di Site Gayo. Hasil pembobotan menunjukkan bahwa metode *block caving* memiliki skor tertinggi (27) sehingga menjadi pilihan paling sesuai, sementara metode *sublevel stoping*, *sublevel caving*, dan *cut and fill* masih memiliki potensi penerapan dengan skor lebih rendah. Sebaliknya, metode *open pit*, *room and pillar*, dan *longwall* memperoleh skor negatif yang menandakan ketidaksesuaian. Penelitian ini menegaskan pentingnya integrasi aspek teknis, lingkungan, dan sosial dalam pemilihan metode penambangan, sehingga menghasilkan keputusan yang tidak hanya optimal secara teknis dan ekonomis, tetapi juga sesuai regulasi yang berlaku.

Kata kunci: pemilihan metode penambangan, Nicholas (1981), lingkungan, sosial

ABSTRACT

*The selection of mining methods is a fundamental decision in mine planning as it influences cost efficiency, safety, productivity, and mine life. Incorrect selection may lead to economic losses, safety risks, and significant environmental and social impacts. Nicholas (1981) introduced a numerical approach based on deposit geometry, grade distribution, and rock mechanics. This study modifies Nicholas' framework by incorporating environmental and social parameters aligned with Indonesian regulations, thereby producing a more holistic evaluation scheme. The methodology includes literature review, model modification, case study data collection, numerical analysis, and result interpretation. A case study was conducted on a gold deposit at the Gayo site. The evaluation shows that **block caving** achieves the highest score (27), making it the most suitable method, while sublevel stoping, sublevel caving, and cut and fill also present potential applicability with lower scores. Conversely, open pit, room and pillar, and longwall methods obtained negative scores, indicating their unsuitability for the studied deposit. This research highlights the importance of integrating technical, environmental, and social considerations in mining method selection, ensuring decisions that are not only technically and economically optimal but also compliant with the applicable regulations.*

Keywords: mining method selection, Nicholas (1981), environment, social

A PENDAHULUAN

Pemilihan metode penambangan merupakan salah satu keputusan paling fundamental dalam perencanaan dan desain tambang. Keputusan ini tidak hanya menentukan bagaimana suatu endapan akan ditambang, tetapi juga memengaruhi efisiensi biaya, tingkat keselamatan kerja, produktivitas, serta umur tambang. Dalam praktiknya, kesalahan dalam menentukan metode penambangan dapat berdampak pada meningkatnya biaya operasional, rendahnya tingkat perolehan bijih, hingga menimbulkan risiko lingkungan dan sosial yang serius. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu pendekatan yang terukur, sistematis, dan dapat dipertanggungjawabkan dalam menentukan metode penambangan yang paling sesuai.

Nicholas (1981) memperkenalkan sebuah pendekatan numerik yang pada masanya menjadi inovasi penting dalam bidang teknik pertambangan. Pendekatan tersebut berfokus pada parameter-parameter utama seperti geometri endapan, distribusi kadar, serta karakteristik mekanika batuan, yang kemudian dikonversi ke dalam bentuk skor numerik. Melalui metode ini, alternatif metode penambangan dapat dibandingkan secara lebih objektif, sehingga mengurangi ketergantungan pada pengalaman subjektif atau kebiasaan praktik di suatu wilayah tambang. Pendekatan ini telah banyak digunakan sebagai rujukan awal dalam studi kelayakan dan perencanaan tambang, terutama ketika data teknis sudah cukup memadai namun masih terbatas pada tahap eksplorasi dan pra-produksi.

Seiring dengan meningkatnya kompleksitas industri pertambangan, kebutuhan untuk memperluas cakupan penilaian dalam pemilihan metode penambangan semakin mendesak. Pertambangan modern kini tidak lagi dapat dipandang semata-mata dari sisi teknis dan ekonomi. Tekanan global terhadap isu lingkungan, seperti degradasi lahan, pencemaran air dan udara, serta hilangnya keanekaragaman hayati, semakin menuntut agar kegiatan tambang mampu meminimalkan dampak ekologisnya. Di sisi lain, aspek sosial seperti penerimaan masyarakat (*social license to operate*), hubungan dengan pemangku kepentingan lokal, serta kontribusi terhadap pembangunan wilayah juga menjadi faktor yang menentukan keberlanjutan suatu operasi tambang.

Dalam konteks inilah, penelitian ini menghadirkan suatu inovasi berupa modifikasi terhadap pendekatan numerik Nicholas (1981) dengan menambahkan kriteria lingkungan dan sosial ke dalam kerangka penilaian. Integrasi kedua faktor ini diharapkan mampu menciptakan suatu model pemilihan metode penambangan yang lebih holistik dan relevan dengan tuntutan era pertambangan berkelanjutan. Dengan adanya tambahan dimensi lingkungan dan sosial, proses pemilihan metode penambangan tidak hanya menghasilkan keputusan yang optimal secara teknis dan ekonomis, tetapi juga berkontribusi pada penerimaan sosial serta pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

Melalui pendekatan ini, diharapkan tercipta kerangka evaluasi metode penambangan yang mampu menjawab tantangan kontemporer industri pertambangan di Indonesia maupun secara global. Model ini tidak hanya mempertahankan keunggulan analisis teknis dari Nicholas (1981), tetapi juga memperkuatnya dengan kriteria lingkungan dan sosial, sehingga dapat menjadi acuan baru dalam praktik *mine planning* modern yang mengedepankan keseimbangan antara keuntungan, lingkungan, dan masyarakat.

B METODOLOGI PENELITIAN

1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan tujuan mengembangkan kerangka pemilihan metode penambangan berbasis pendekatan numerik Nicholas (1981) yang dimodifikasi dengan penambahan kriteria lingkungan dan sosial. Pendekatan yang digunakan melalui pendekatan perundang – undangan (*statue approach*) Republik Indonesia, studi literatur dan pendekatan kasus (*case approach*).

Penelitian dilakukan melalui dua tahap utama:

- Penerapan model: studi kasus pada suatu endapan yang dipilih, untuk melihat hasil perhitungan dan pemilihan metode penambangan yang dihasilkan.
- Pengembangan model: menambahkan variabel lingkungan dan sosial ke dalam skema numerik Nicholas.

2. Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Studi Literatur

Tahap pertama adalah melakukan kajian literatur terkait pemilihan metode penambangan berdasarkan berbagai referensi, seperti yang dikemukakan oleh Nicholas (1981) serta Boshkov & Wright, Laubscher, dan lain-lain. Dari kajian ini, penelitian berfokus pada identifikasi parameter lingkungan dan parameter sosial yang relevan dengan regulasi di Indonesia untuk tujuan pengembangan.

b. Modifikasi Model Nicholas (1981)

Tahap berikutnya adalah menyusun tabel parameter lingkungan dan sosial dengan mengacu pada tabel yang dikembangkan oleh Nicholas. Selanjutnya, ditetapkan bobot (weighting factor) untuk setiap parameter baru dengan menggunakan metode *expert judgment* atau *literature-based weighting*. Setelah itu, skor lingkungan dan sosial diintegrasikan ke dalam sistem penilaian Nicholas, sehingga dapat menghasilkan skor total yang lebih komprehensif.

c. Pengumpulan Data Studi Kasus

Tahap ini mencakup kegiatan pengumpulan data teknis terkait endapan, meliputi geometri, distribusi kadar, kedalaman, ketebalan, serta sifat mekanika batuan. Selain itu, dilakukan juga pengumpulan data lingkungan dan data sosial sesuai dengan parameter yang ditetapkan dalam

d. Perhitungan dan Analisis

Pada tahap analisis, kerangka Nicholas asli digunakan untuk menghitung skor awal dari setiap metode penambangan berdasarkan faktor teknis. Setelah itu, ditambahkan skor lingkungan dan sosial sesuai dengan hasil modifikasi model. Seluruh skor total kemudian dijumlahkan dan digunakan untuk meranking metode penambangan sehingga dapat diketahui metode yang paling sesuai.

e. Interpretasi Hasil

Tahap terakhir adalah mengevaluasi metode penambangan yang terpilih dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, lingkungan, serta data sosial. Dari hasil evaluasi ini, penelitian memberikan rekomendasi metode penambangan yang optimal berdasarkan studi kasus yang telah dianalisis melalui tahapan perhitungan sebelumnya.

3. Pemilihan Metode Penambangan Berdasarkan Nicholas (1981)

Dalam pendekatan Nicholas (1981), proses pemilihan metode penambangan dilakukan dengan memberikan nilai numerik (ranking) pada setiap parameter geometri, distribusi kadar, dan karakteristik mekanika batuan terhadap kesesuaiannya dengan berbagai metode penambangan. Sistem ranking ini bertujuan untuk mengukur tingkat kecocokan suatu metode berdasarkan kondisi endapan secara lebih objektif.

a. Pengkategorian berdasarkan geometri bijih dan distribusi kadar

Pengkategorian geometri bijih dan distribusi kadar dilakukan dengan berdasarkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Definition of Deposit Geometry and Grade Distribution (Nicholas, 1981)

Geometry of Deposit
1) General Shape

Geometry of Deposit	
Equi-dimensional:	all dimensions are on the same order of magnitude
Platye - tabular:	two dimensions are many times the thickness, which does not usually exceed 100 m (325 ft)
Irregular:	dimensions vary over short distances
2) Ore-thickness	
Narrow:	< 10 m
Intermediate:	10 m – 30 m
Thick:	30 m – 100 m
Very tick:	> 100 m
3) Plunge	
Flat:	< 20°
Intermediate:	20°– 50°
Steep:	> 55°
4) Depth below surface	Provide actual depth
5) Grade distribution	
Uniform:	the grade at any point in the deposit does not vary significantly from the mean grade for that deposit
Gradational:	grade values have zonal characteristics, and the grades change gradually from one to another
Erratic:	grade values change radically over short distances and do not exhibit any discern ible pattern in their changes

b. Pengkategorian berdasarkan mekanika batuan

Pengkategorian mekanika batuan dilakukan dengan berdasarkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rock Mechanics Characteristics (Nicholas, 1981)

Rock Mechanisc Characteristics		
1) Rock Substance Strength (uniaxial strength/overburden pressure)		
Weak:	< 8	
Moderate:	8-15	
Strong:	> 15	
2) Fracture spacing	No. of fractures/m	% RQD
Very close:	> 16	0 – 20
Close:	10 – 16	20 – 40
Wide:	3 – 10	40 – 70
Very wide:	3	70 – 100
3) Fracture shear strength		
Weak:	clean joint with a smooth surface or fill with material whose strength is less than rock sub stance strength.	
Moderate:	clean joint with a rough surface.	
Strongth:	joint is filled with a material that is equal to or stronger than rock substance strength.	

Nicholas menetapkan empat kategori utama, yaitu *preferred*, *probable*, *unlikely*, dan *eliminated* seperti terlihat pada Tabel 3. Kategori *preferred* diberikan nilai 3–4, mencerminkan kondisi yang sangat sesuai dengan metode penambangan tertentu. Kategori *probable* diberi nilai 1–2, menandakan metode tersebut masih dapat diterapkan dengan hasil yang cukup baik. Kategori *unlikely* diberi nilai 0, menunjukkan bahwa metode kurang cocok namun tidak sepenuhnya tertutup kemungkinan untuk digunakan. Sementara itu, kategori *eliminated* diberi nilai –49, yang secara otomatis menyingkirkan metode tersebut dari alternatif yang dipertimbangkan.

Tabel 3. Rank value (Nicholas, 1981)

Ranking	Nilai (Value)
----------------	----------------------

Preferred	3-4
Probable	1-2
Unlikely	0
Eliminated	-49

Pemberian bobot dengan rentang nilai ini memungkinkan adanya fleksibilitas penilaian sesuai dengan karakteristik endapan yang spesifik, sekaligus menjaga konsistensi dalam perbandingan antar-metode. Seluruh skor dari parameter geometri dan mekanika batuan dijumlahkan untuk setiap metode penambangan, sehingga diperoleh total skor yang dapat digunakan untuk menyusun peringkat kelayakan metode. Metode dengan skor tertinggi dipandang sebagai kandidat paling sesuai untuk tahap evaluasi berikutnya. Pembobotan inilah yang juga akan digunakan dalam parameter lingkungan pada *paper* ini.

Tabel 4. Tabel Bobot Berdasarkan Geometri dan Distribusi Kadar (Nicholas, 1981)

Mining Method	General Shape				Ore Thickness		
	Massive	Tabular or Platy	Irregular	Narrow	Intermediate	Thick	Very Thick
Open Pit	3	2	3	2	3	4	4
Block Caving	4	2	0	-49	0	2	4
Sublevel Stopping	2	2	1	1	2	4	3
Sublevel Caving	3	4	1	-49	0	4	4
Longwall	-49	4	-49	4	0	-49	-49
Room and Pillar	0	4	2	4	2	-49	-49
Shrinkage Stopping	2	2	1	1	2	4	3
Cut and Fill	0	4	2	4	4	0	0
Top Slicing	3	3	0	-49	0	3	4
Square Set	0	2	4	4	4	1	1

Tabel 5. Tabel Bobot Berdasarkan Geometri dan Distribusi Kadar (Lanjutan) (Nicholas, 1981)

Mining Method	Ore Plunge				Grade Distribution		
	Flat	Intermediate	Flat	Intermediate	Flat	Intermediate	Very Thick
Open Pit	3	3	3	3	3	3	4
Block Caving	3	2	3	2	3	2	4
Sublevel Stopping	2	1	2	1	2	1	3
Sublevel Caving	1	1	1	1	1	1	4
Longwall	4	0	4	0	4	0	-49
Room and Pillar	4	1	4	1	4	1	-49
Shrinkage Stopping	2	1	2	1	2	1	3
Cut and Fill	0	3	0	3	0	3	0
Top Slicing	4	1	4	1	4	1	4
Square Set	2	3	2	3	2	3	1

Tabel 6. Tabel Bobot Berdasarkan Kondisi Mekanis Batuan (Nicholas, 1981)

Mining Method	Rock Substance Strength			Fracture Spacing				Fracture Strength		
	W	M	S	VC	C	W	VW	W	M	S
Open Pit	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4

Mining Method	Rock Substance Strength			Fracture Spacing				Fracture Strength		
	W	M	S	VC	C	W	VW	W	M	S
Block Caving	4	1	1	4	4	3	0	4	3	0
Sublevel Stopping	-49	3	4	0	0	1	4	0	2	4
Sublevel Caving	0	3	3	0	2	4	4	0	2	2
Longwall	4	1	0	4	4	0	0	4	3	0
Room and Pillar	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Shrinkage Stopping	1	3	4	0	1	3	4	0	2	4
Cut and Fill	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2
Top Slicing	2	3	3	1	1	2	4	1	2	4
Square Set	4	1	1	4	4	2	1	4	3	2

Keterangan:

W:	Weak
M:	Moderate
S:	Strong
VC:	Very Close
C:	Close
W:	Weak
	Very
VW:	Weak

Rank ini akan diterapkan untuk mengevaluasi sepuluh metode penambangan yang umum digunakan, yaitu *open pit*, *block caving*, *sublevel stopping*, *sublevel caving*, *longwall*, *room and pillar*, *shrinkage stopping*, *cut and fill*, *top slicing*, dan *square set*. Setiap metode diberi nilai numerik pada masing-masing karakteristik ini, yang mencerminkan sejauh mana karakteristik deposit sesuai dengan metode yang digunakan. Skor yang lebih tinggi menunjukkan kondisi geomekanik yang lebih mendukung, sementara skor yang lebih rendah menunjukkan potensi tantangan geomekanik yang lebih besar.

C HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini menggunakan data studi kasus salah satu tambang emas di *site* Gayo. Data studi kasus dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Data Case Study

Data PT XYZ Site Gayo	
General shape	Massive
Ore thickness	Very Thick
Plunge	Steep
Grade Distribution	Gradational
Rock Substance Strength	Weak
Fracture Spacing	Very Close
Tata Guna Lahan	Hutan Lindung
Sungai	Jarak ke Sungai ≥ 500 m
Kawasan Pesisir dan Pulau Kecil	Tidak
Jarak ke pemukiman	≥ 1.000 m

Pemilihan metode menggunakan perhitungan Nicholas dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Berdasarkan Parameter Geometri dan Distribusi Grade

Penilaian berdasarkan geometri dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Tabel Hasil Pembobotan Berdasarkan Geometri dan Distribusi Grade

Mining Method	Geometri/Grade			Total
	General Shape	Ore Thickness	Ore Plunge	
Open Pit	3	4	4	11
Block Caving	4	4	4	12
Sublevel Stopping	3	3	4	10
Sublevel Caving	4	4	4	12
Longwall	-49	-49	-49	-147
Room and Pillar	0	-49	0	-49
Shrinkage Stopping	2	3	4	9
Cut and Fill	0	0	4	4
Top Slicing	3	4	2	9
Square Set	0	1	3	4

2. Berdasarkan Parameter Mekanika Batuan

Penilaian berdasarkan karakteristik mekanika batuan dapat dilihat pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Tabel Hasil Pembobotan Berdasarkan Rock Mechanics Characteristic

Mining Method	Ore Zone		Total
	Rock Substance Strength	Fracture Spacing	
Open Pit	3	2	5
Block Caving	4	4	8
Sublevel Stopping	-49	0	-49
Sublevel Caving	0	0	0
Longwall	4	4	8
Room and Pillar	0	0	0
Shrinkage Stopping	1	0	1
Cut and Fill	3	3	6
Top Slicing	2	1	3
Square Set	4	4	8

3. Berdasarkan Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan yang dipilih dalam pengembangan model Nicholas (1981) adalah aspek tataguna lahan, keberadaan sungai dan kawasan pesisir dan pulau kecil. Aspek tataguna lahan diposisikan sebagai salah satu parameter dalam kriteria lingkungan berdasarkan Pasal 17A UU No. 3 Tahun 2020, yang menegaskan bahwa kegiatan pertambangan wajib menyesuaikan dengan rencana tata ruang wilayah dan tidak boleh bertentangan dengan fungsi kawasan. Oleh karena itu, aspek tataguna lahan dibedakan berdasarkan kategori lahan berupa Kawasan Konservasi, Kawasan Hutan Lindung, Kawasan Hutan Produksi dan Areal Penggunaan Lain.

Aspek keberadaan sungai dipilih berdasarkan PP Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai, yang mengatur ruang sungai dan menetapkan larangan pemanfaatan yang dapat mengganggu fungsi

lindung dan ekosistem sungai. Aspek keberadaan Sungai dibedakan berdasarkan Sungai Besar dan Sungai Kecil pada PP Nomor 38 Tahun 2011.

Aspek kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil didasarkan pada ketentuan UU Nomor 27 Tahun 2007 No. UU Nomor 6 Tahun 2023 serta Permen KP Nomor 10 Tahun 2024, yang menegaskan bahwa pemanfaatan wilayah tersebut harus mengutamakan kepentingan nasional, menjaga kelestarian lingkungan, serta mendukung kesejahteraan masyarakat. Pemilihan variabel ini menjadi penting mengingat banyaknya kegiatan pertambangan di Indonesia yang berlokasi pada kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil, sehingga diperlukan parameter penilaian khusus untuk memastikan boleh tidaknya aktivitas penambangan sesuai regulasi.

Dengan demikian, pemilihan ketiga variabel lingkungan ini didasarkan pada kerangka regulasi yang jelas, sehingga dapat dijadikan parameter dalam penilaian numerik tingkat kesesuaian suatu wilayah bagi kegiatan pertambangan.

Penetapan bobot (*weighting factor*) untuk parameter lingkungan dilakukan melalui pendekatan *expert judgment* maupun *literature-based weighting*, dengan kerangka pertimbangan yang mencakup kompleksitas proses perizinan, jarak areal penambangan terhadap badan sungai, luas pulau, serta potensi dampak lingkungan dan sosial yang ditimbulkan. Menurut Saaty (1980) penggunaan expert judgment efektif untuk memberikan bobot pada kriteria yang kompleks ketika data kuantitatif terbatas. Sementara itu, pendekatan literature-based weighting mampu memperkuat objektivitas penilaian melalui rujukan empiris dan penelitian terdahulu (Malczewski (1999)).

Tabel 10 Penentuan Metode Penambangan PT XYZ Site Gayo Berdasarkan Parameter Lingkungan

Metode Penambangan	Tataguna Lahan				Sungai		Kawasan	
	Hutan Konservasi	Hutan Lindung	Hutan Produksi	Area Penggunaan Lain	Besar	Kecil	Pesisir	Pulau-Pulau Kecil
Open Pit	-49	-49	2	4	3	2	-49	-49
Block Caving	-49	1	3	4	2	3	0	0
Sublevel Stopping	-49	1	3	4	2	3	0	0
Sublevel Caving	-49	1	3	4	2	3	0	0
Longwall	-49	2	4	4	2	3	0	0
Room and Pillar	-49	2	4	4	2	3	0	0
Shrinkage Stopping	-49	2	4	4	2	3	0	0
Cut and Fill	-49	2	4	4	2	3	0	0
Top Slicing	-49	2	4	4	2	3	0	0
Square Set	-49	2	4	4	2	3	0	0

Berdasarkan hasil pembobotan, diperoleh penilaian bahwa metode *open pit* tidak dapat diterapkan pada kawasan konservasi maupun kawasan hutan lindung. Hal ini merujuk pada Pasal 92 Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2021, yang mengatur bahwa kegiatan pertambangan di kawasan hutan lindung hanya dapat dilakukan dengan pola pertambangan bawah tanah. Adapun untuk kawasan hutan konservasi, sesuai dengan ketentuan Pasal 90 peraturan yang sama, penggunaan kawasan hutan hanya diperbolehkan pada hutan produksi dan hutan lindung. Untuk Area Penggunaan Lain (APL), kegiatan penambangan dimungkinkan untuk dilaksanakan, namun tetap harus mengacu dan menyesuaikan dengan ketentuan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) di masing-masing daerah.

Berdasarkan hasil pembobotan, terlihat bahwa metode *open pit* secara tegas tidak dapat diterapkan pada kawasan hutan konservasi, hutan lindung, maupun pulau-pulau kecil, karena adanya larangan eksplisit dalam Pasal 23 PP No. 23 Tahun 2021 serta UU No. 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan. Pada hutan lindung, regulasi hanya memperbolehkan pola pertambangan bawah tanah, sehingga

metode-metode seperti *block caving*, *room and pillar*, *cut and fill*, atau metode sejenis masih dimungkinkan dengan skor kelayakan rendah hingga menengah (1–2).

Pada kawasan hutan produksi dan area penggunaan lain (APL), kegiatan pertambangan memperoleh skor tertinggi (3–4), yang menandakan kelayakan teknis maupun legal yang lebih besar. Namun demikian, kegiatan tetap wajib mengacu pada Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) serta melalui perizinan berusaha sesuai ketentuan lingkungan. Untuk kawasan sungai besar dan sungai kecil, skor menengah (2–3) mencerminkan adanya keterbatasan pemanfaatan ruang sebagaimana diatur dalam PP No. 38 Tahun 2011 tentang Sungai, yang menetapkan sempadan sungai sebagai kawasan lindung yang tidak boleh terganggu.

Sementara itu, pada kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil, kegiatan pertambangan pada dasarnya sangat dibatasi bahkan dilarang, sesuai dengan UU No. 27 Tahun 2007 jo. UU No. 6 Tahun 2023 serta Permen KP No. 10 Tahun 2024. Hal ini selaras dengan prinsip keberlanjutan, mengingat ekosistem pesisir dan pulau kecil sangat rentan terhadap kerusakan lingkungan dan perubahan sosial-ekonomi.

4. Berdasarkan Parameter Sosial

Parameter sosial yang dipilih dalam pengembangan model Nicholas (1981) adalah aspek jarak kegiatan penambangan terhadap pemukiman. Jarak kegiatan penambangan terhadap pemukiman penduduk merupakan salah satu parameter penting dalam penilaian lingkungan dan sosial, karena berkaitan langsung dengan keselamatan, kesehatan, serta kualitas hidup masyarakat sekitar tambang. Aktivitas tambang terbuka berpotensi menimbulkan dampak negatif berupa kebisingan, getaran, debu, pencemaran udara, penurunan kualitas air tanah, hingga risiko longsor. Kedekatan lokasi tambang dengan pemukiman akan meningkatkan intensitas paparan dampak tersebut sehingga memperbesar risiko terhadap masyarakat.

Secara regulasi, hal ini telah diatur dalam Permen LH Nomor 4 Tahun 2012 paada Pasal 9 ayat (2) disebutkan bahwa “jarak tepi lubang galian tambang terbuka batubara paling sedikit 500 (lima ratus) meter dari batas izin usaha pertambangan yang berdekatan dengan pemukiman.” Ketentuan ini menegaskan bahwa perlindungan masyarakat dari dampak langsung kegiatan tambang merupakan aspek yang wajib diperhatikan dalam perencanaan penambangan. Meski regulasi jelas menyebutkan 500 meter sebagai jarak minimal untuk lubang tambang terbuka ke pemukiman (Permen LH No. 4/2012), banyak kasus di lapangan menunjukkan bahwa aktivitas tambang di Indonesia lebih dekat dari itu (Mongabay, 2021).

Tabel 11. Penentuan Metode Penambangan PT XX dengan Parameter Sosial

Metode Penambangan	Jarak ke Pemukiman		
	≥50 m	≥500 m	≥1.000 m
Open Pit	-49	3	4
Block Caving	2	4	4
Sublevel Stopping	2	4	4
Sublevel Caving	2	4	4
Longwall	2	4	4
Room and Pillar	2	4	4
Shrinkage Stopping	2	4	4
Cut and Fill	2	4	4
Top Slicing	2	4	4
Square Set	2	4	4

Tabel 11 memperlihatkan hasil pembobotan metode penambangan berdasarkan jarak ke pemukiman sebagai parameter sosial. Dari tabel terlihat bahwa metode open pit dieliminasi (skor -49) apabila

jaraknya kurang dari 50 meter dari pemukiman, karena risiko sosial dan lingkungan yang sangat tinggi. Namun, apabila jarak sudah lebih dari 500 meter, metode ini masih dianggap mungkin (skor 3) dan bahkan *preferable* (skor 4) jika lebih dari 1.000 meter, dengan catatan tetap memenuhi ketentuan lingkungan hidup sebagaimana diatur dalam Permen LH No. 4 Tahun 2012 Pasal 9 ayat (2) yang mewajibkan jarak minimal 500 meter.

Sebaliknya, metode penambangan bawah tanah seperti *block caving*, *sublevel stoping*, *sublevel caving*, *longwall*, *room and pillar*, *shrinkage stoping*, *cut and fill*, *top slicing*, maupun *square set* mendapatkan skor 2 pada jarak sangat dekat (≥ 50 m), yang menunjukkan masih ada potensi risiko sosial, tetapi menjadi lebih layak (skor 4) apabila jaraknya lebih dari 500 meter hingga 1.000 meter. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun metode bawah tanah lebih minim dampak visual dibanding tambang terbuka, keberadaannya di dekat pemukiman tetap berpotensi menimbulkan masalah seperti getaran, penurunan tanah (*subsidence*), kebisingan, dan gangguan sosial lainnya.

Mancini & Sala (2018) serta Hilson (2002) juga menegaskan bahwa konflik penggunaan lahan, jarak tambang terhadap komunitas lokal, serta dampak kesehatan akibat kedekatan lokasi menjadi indikator penting dalam kajian dampak sosial pertambangan. Selain itu, studi Hilson (2002) dan Azapagic (2004) menunjukkan bahwa pertambangan berkelanjutan hanya dapat dicapai bila aspek regulasi lingkungan dan keadilan sosial dimasukkan dalam pengambilan keputusan.

Dengan demikian, sistem pembobotan ini tidak hanya berfungsi sebagai instrumen teknis, tetapi juga sebagai mekanisme penyaluran antara peraturan perundangan nasional dan kegiatan dilapangan. Hal ini penting agar metode penambangan yang dipilih tidak hanya layak secara teknis dan ekonomis, tetapi juga sah secara hukum serta dapat diterima dari perspektif sosial dan lingkungan.

Tabel 12 berikut adalah hasil pembobotan untuk parameter lingkungan dan sosial untuk *case study site Gayo*.

Tabel 12. Tabel Hasil Pembobotan Berdasarkan Parameter Lingkungan dan Sosial

Mining Method	Parameter Lingkungan		Parameter Sosial	Total
	Tata Guna Lahan	Sungai	Jarak Ke Pemukiman	
	Hutan Lindung	Besar	≥ 500 m	
Open Pit	-49	3	3	-43
Block Caving	1	2	4	7
Sublevel Stopping	1	2	4	7
Sublevel Caving	1	2	4	7
Longwall	2	2	4	8
Room and Pillar	2	2	4	8
Shrinkage Stopping	2	2	4	8
Cut and Fill	2	2	4	8
Top Slicing	2	2	4	8
Square Set	2	2	4	8

Catatan: Parameter lingkungan: kawasan dalam studi kasus ini diabaikan karena posisi lokasi tambang yang tidak berada di daerah pulau-pulau kecil maupun pesisir.

Didapatkan hasil akhir pembobotan seperti terlihat pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13 Tabel Hasil Pembobotan Berdasarkan Seluruh Kriteria

Mining Method	Total
Open Pit	-27
Block Caving	27
Sublevel Stopping	-32

Mining Method	Total
Sublevel Caving	19
Longwall	-131
Room and Pillar	-41
Shrinkage Stopping	18
Cut and Fill	18
Top Slicing	20
Square Set	20

Tabel 13 menunjukkan bahwa metode *block caving* memiliki skor tertinggi (27) yang berarti metode ini paling cocok dengan kriteria yang diterapkan, seperti ketebalan ore yang sangat tebal dan distribusi grade yang cenderung gradasional. Metode ini sangat efektif pada deposit dengan sifat geologi yang mendukung, seperti adanya lapisan batuan penutup yang cukup kuat untuk mendukung mekanisme penurunan lapisan ore. Dengan demikian, metode ini memberikan keuntungan dalam hal efisiensi dan pengurangan biaya operasional jangka panjang.

Sementara itu, metode *sublevel stopping* dan *sublevel caving* dengan skor masing-masing 19 dan 18, juga menunjukkan potensi yang baik untuk diterapkan, meskipun dengan beberapa kekurangan dalam hal efisiensi dibandingkan dengan *block caving*. Metode ini lebih cocok pada deposit dengan ketebalan ore yang lebih terkontrol dan lebih dalam, di mana penggalian dilakukan secara bertahap dengan metode pemecahan dan pemindahan material yang lebih selektif.

Sebaliknya, metode *open pit* dengan skor -27 menandakan bahwa metode ini kurang sesuai untuk deposit dengan kedalaman yang besar atau geometri yang tidak mendukung, karena membutuhkan biaya pengupasan yang tinggi dan dapat mengakibatkan kerugian ekonomi jika diterapkan pada kedalaman yang tidak optimal. Metode ini lebih cocok untuk deposit dangkal, di mana biaya pengupasan material lebih rendah, tetapi tidak efektif untuk deposit dalam atau dengan potensi geologi yang lebih kompleks.

Metode *room and pillar* (-41) dan *longwall* (-131) menunjukkan ketidaksesuaian yang sangat tinggi, dengan *longwall* memiliki skor terendah, yang mengindikasikan bahwa metode ini sangat tidak direkomendasikan untuk deposit yang sedang dianalisis. Metode *room and pillar* menunjukkan ketidaksesuaian pada deposit dengan karakteristik ore yang lebih kecil atau lebih tersebar, di mana pemisahan ruang yang lebih efisien lebih sulit dicapai.

Berdasarkan hasil ini, sangat penting untuk melakukan evaluasi lebih lanjut mengenai kondisi geologi, distribusi ore, dan faktor operasional lainnya seperti biaya kapital dan tenaga kerja, untuk memastikan pemilihan metode yang tidak hanya tepat secara geologi, tetapi juga optimal dari segi ekonomi dan teknis. Pembobotan ini memberikan gambaran awal yang penting dalam proses perencanaan tambang yang lebih rinci, yang akan mengarah pada keputusan yang lebih matang dan berdasarkan data.

D KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembobotan yang dilakukan terhadap berbagai metode penambangan, metode *block caving* muncul sebagai pilihan yang paling sesuai untuk deposit yang dianalisis, dengan skor tertinggi yang menunjukkan kesesuaian yang sangat baik terhadap karakteristik geologi dan mekanika batuan. Metode *sublevel stopping* dan *sublevel caving* juga menunjukkan potensi yang baik, meskipun dengan beberapa kekurangan dalam hal efisiensi dibandingkan dengan *block caving*.

Sebaliknya, metode *open pit* memiliki skor terendah, menandakan ketidaksesuaian pada deposit dengan kedalaman besar atau geometri yang kompleks, sehingga tidak direkomendasikan untuk deposit ini. Metode *room and pillar* dan *longwall* memiliki skor yang sangat rendah, dengan *longwall*

menjadi yang paling tidak sesuai, menunjukkan bahwa kedua metode ini sebaiknya dihindari dalam fase perencanaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi kepada PERHAPI atas terselenggaranya TPT PERHAPI 2025 dan kesempatan berpartisipasi dalam proses seleksi. Harapannya, makalah ini dapat dipresentasikan serta menjadi bahan diskusi dalam forum ilmiah tersebut guna mendukung kemajuan pengetahuan dan praktik pertambangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azapagic (2004), *Developing a Framework for Sustainable Development Indicators for the Mining and Minerals Industry*. The University of Manchester.
- Hilson (2002), *An overview of land use conflicts in mining communities*. Land Use Policy, Volume 19, Issue 1, January 2002, Pages 65-73
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. New York: J. Wiley & Sons.
- Mancini & Sala (2018). *Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks*. Resources Policy. August 2018, Pages 98-111
- Mongabay. (2021, Maret 6). *Warga Sikalang Resah, Operasi Tambang Batubara Makin Dekati Pemukiman*. Mongabay Indonesia. <https://mongabay.co.id/2021/03/06/warga-sikalang-resah-operasi-tambang-batubara-makin-dekati-pemukiman/>
- Nicholas, D. E. (1981). *Method selection – A numerical approach*. In E. P. Pfeider (Ed.), *Design and operation of caving and sublevel stoping mines* (pp. 436–471). Society of Mining Engineers of AIME.
- | | | |
|---|-------------------------------------|---|
| Peraturan
Tentang Penyelenggaraan Kehutanan | Pemerintah
Republik
Indonesia | Nomor
23
Tahun
2021 |
| Peraturan
Tentang Wilayah Pertambangan | Pemerintah
Republik
Indonesia | Nomor
25
Tahun
2023 |
| Peraturan
Tentang Sungai | Pemerintah
Republik
Indonesia | Nomor
38
Tahun
2011 |
| Peraturan
Tentang Pelaksanaan Kegiatan Usa Pertambangan | Pemerintah
Republik
Indonesia | Nomor
96
Tahun
2021 |
| Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan
Tentang Pemanfaatan Pulau-Pulau Kecil dan Perairan di Sekitarnya. | Republik
Indonesia | Nomor 10
Tahun 2024 |
| Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup
Lingkungan untuk Usaha dan/atau Kegiatan Penambangan Terbuka Batubara. | Nomor 4
Tahun 2012 | tentang Indikator Ramah
Lingkungan |
| T. L. Saaty (1980), <i>The Analytic Hierarchy Process</i> . McGraw-Hill, New York (1980). | | |
| Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 Tentang Perubahan Atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral Dan Batubara | | |
| Undang-Undang
Tentang Perubahan Atas Undang-Undang
Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil | Republik
Indonesia | Nomor 1
Tahun 2014
Nomor 27
Tahun 2007 |