

Available online at: <http://inventory.poltekatiptdg.ac.id/>

INVENTORY

Industrial Vocational E-Journal on Agroindustry

| ISSN Online 2723-1895 |



Strategi Dekarbonisasi Untuk Industri Pertambangan Batu Bara di Indonesia Menggunakan Metode TOPSIS

Huid Alam ¹, Muhammad Reza ²

¹ Renewable Energy Enterprise and Management, School of Engineering, Newcastle University, Newcastle upon Tyne NE1 7RU, United Kingdom

² Magister Teknik Sistem, Universitas Gadjah Mada, Jl. Teknik Utara, No.3, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 5528, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: March 27, 2024

Revised: June 06, 2024

Accepted: June 25, 2024

KEYWORDS

Coal Mining, Decarbonization, MDCA, TOPSIS

CORRESPONDENCE

Name: Huid Alam

E-mail: huid.alam@gmail.com

ABSTRACT

The coal mining industry is one of the largest contributors to Indonesia's economy and greenhouse gas emissions at the same time. Indonesian coal mining companies will inevitably expand their business to meet the demand and targets. But Indonesia already set its ambition to become a net-zero country by 2060 or earlier. Without a robust decarbonization strategy at the company level, Indonesia will face difficulties meeting the net-zero target. This study proposes to use one of the Multi-Criteria Decision Analysis, Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal, Solution method within the Political, Economic, Social, Technology, Environmental, and Legal criteria to assess five prioritized decarbonization strategies, which are renewable energy, equipment electrification, business shifting, process efficiency, carbon offset. The analysis will evaluate essential sub-criteria such as regulation compliance, investment, social acceptance, technological readiness, and emissions reduction. The data was acquired from a survey of coal mining stakeholders, other journal reviews, and company disclosures. The final results show that process efficiency scores highest on the selected criteria due to high economic and technological value. Meanwhile, other criteria like carbon offset, renewable energy use, and equipment electrification receive lower scores.

PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi tantangan signifikan di sektor pertambangan batu bara seiring upaya untuk mencapai target pengurangan emisi sesuai *Enhanced National Determined Contribution* (NDC) sebesar 31.89% pada tahun 2030 dan *net-zero emissions* (NZE) di tahun 2060 [1]. Target penurunan emisi di Indonesia mengutamakan pada sektor yang ada di NDC yakni sektor energi, sektor limbah, sektor proses industri dan penggunaan produk (IPPU), sektor agrikultur, dan sektor kehutanan dan penggunaan lahan (FOLU) [1]. Industri pertambangan batu bara yang menjadi bagian dari sektor energi dengan target penurunan sebesar 358 juta ton CO_{2e}, dan perlu menjadi perhatian utama, mengingat industri ini memiliki arti penting dalam perputaran ekonomi secara nasional, dimana batu bara dapat berkontribusi sekitar 2-3% terhadap PDB nasional. Selain itu, batu bara

berkontribusi pada pendapatan negara hingga total lebih dari 2%, dan berkontribusi hingga 10-13% dari nilai total ekspor [2]. Industri batu bara memiliki peran sentral dalam sektor energi di Indonesia, dimana 60% pasokan listrik secara nasional disuplai oleh batu bara hingga tahun 2023 [3]. Namun demikian, sektor batu bara menjadi sumber emisi gas rumah kaca (GRK) terbesar dari sektor energi, menyumbang sekitar 600 juta ton emisi setara CO₂, yang juga menghambat pencapaian Indonesia untuk mencapai penurunan emisi GRK [4].

Indonesia menyadari kontribusi ekonomi yang signifikan dari industri batu bara dan secara aktif mencari cara untuk memitigasi dampak ekonomi dari peralihan dari penggunaan batu bara. Hal ini dapat mendorong untuk diversifikasi perekonomian, investasi pada sektor energi terbarukan, dan mendorong industri lain untuk mengimbangi potensi penurunan ekonomi akibat berkurangnya ketergantungan terhadap batu bara.

Fenomena ini diperkuat dengan hasil penelitian bahwa investasi baru dalam sektor batu bara menjadi tidak kompetitif secara ekonomi dibandingkan dengan investasi baru dalam energi terbarukan, dengan proyeksi bahwa akan lebih murah membangun solar PV baru daripada menjalankan pembangkit batu bara yang ada pada tahun 2028 oleh Gray dkk [5]. Penelitian ini juga menyoroti risiko *stranded assets* yang signifikan jika kapasitas batu bara terus berkembang, dengan potensi kerugian sebesar \$34,7 miliar [5]. Selain itu, dorongan dalam transisi dari industri batu bara dapat meningkatkan kualitas udara dan kesehatan masyarakat, mengurangi beban biaya kesehatan yang diakibatkan oleh polusi udara, berdasarkan penelitian [6].

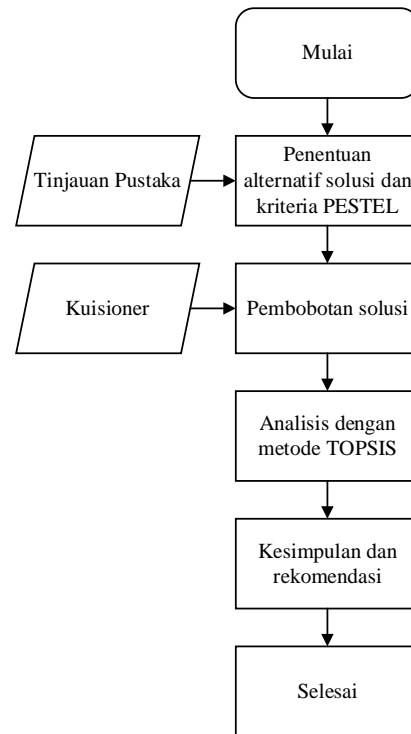
Sejumlah penelitian telah menggunakan *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA) untuk mengevaluasi dan memprioritaskan alternatif dalam pemanfaatan kembali tambang yang ditinggalkan. Diantaranya, metode *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) telah banyak diterapkan karena kekuatannya dan kemampuannya dalam menangani skenario pengambilan keputusan yang kompleks. Misalnya, penggunaan kombinasi *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dan TOPSIS untuk merangking alternatif penggunaan lahan untuk tambang yang telah ditutup, dengan mempertimbangkan berbagai kriteria lingkungan, ekonomi, dan sosial [7]. Demikian pula, penerapan metode TOPSIS untuk mengevaluasi kelayakan pembangunan wilayah pembangunan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), menunjukkan aplikasinya dalam proyek terkait energi [8]. Namun, masih terdapat kesenjangan dalam penerapan TOPSIS secara khusus dalam konteks strategi dekarbonisasi industri pertambangan di Indonesia untuk memastikan keberlanjutan suatu industri.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk membentuk kerangka yang dapat menyusun strategi dekarbonisasi yang sesuai untuk industri pertambangan batu bara di Indonesia. Adapun metode yang digunakan oleh peneliti yaitu salah satu dari metode MCDA yaitu TOPSIS, untuk mempertimbangkan empat strategi utama dalam menyusun tahap dekarbonisasi antara lain yakni utilisasi energi terbarukan, elektrifikasi peralatan, efisiensi proses, dan kompensasi karbon (*carbon offset*). Studi ini mengatasi kebutuhan mendesak akan suatu strategi komprehensif yang seimbang antara keamanan energi, keadilan, dan keberlanjutan lingkungan.

METODOLOGI

Pada penelitian ini, studi dibentuk menggunakan kerangka MCDA dengan metode TOPSIS untuk menilai

kriteria PESTEL yang terdiri dari enam aspek yaitu Politik (*Political*), Ekonomi (*Economic*), Sosial (*Social*), Teknologi (*Technology*), Lingkungan (*Environment*) dan Legal (*Legal*) untuk menilai berbagai strategi dekarbonisasi pada sektor pertambangan batu bara di Indonesia. Aspek-aspek kunci dari metode TOPSIS meliputi rancangan, karakteristik, dan faktor bobot. Beberapa opsi antara lain yakni energi terbarukan, elektrifikasi peralatan, peningkatan efisiensi proses, dan kompensasi karbon telah dipilih, untuk menyusun strategi dekarbonisasi dan menjadi metode yang lazim digunakan pada industri ini.



Gambar 1. Tahapan Penelitian dengan Metode TOPSIS

Data primer untuk analisis ini berasal dari kuesioner yang kami berikan terhadap para 21 pelaku di dunia pertambangan batu bara yang terdiri dari pegawai perusahaan, teknisi, konsultan maupun dari sisi akademisi. Pemilihan responden dilakukan berdasarkan kapabilitas para pemangku kepentingan dan tingkat pengetahuan mereka terkait aspek dekarbonisasi yang ada di sektor pertambangan batu bara. Justifikasi pemilihan responden berdasarkan tingkat pengalaman di dunia pertambangan batu bara dan relevansi posisi terhadap isu dekarbonisasi di sektor ini.

Selain itu, data sekunder berasal dari tinjauan pustaka untuk pembobotan kriteria PESTEL terhadap opsi strategi dekarbonisasi yang dipilih. Metode TOPSIS, yang telah digunakan dalam penelitian oleh Li Tao dkk [9], menilai dan memprioritaskan sumber energi terbarukan dalam konteks keberlanjutan dan dekarbonisasi di China. Selain itu, metode yang sama

juga digunakan dalam penelitian oleh Arratia-Solar dkk [10], yang berfokus pada perencanaan penggunaan lahan pasca-tambang yang berkelanjutan dan inklusif, sejalan dengan tujuan dekarbonisasi global.

Dalam analisis ini, terdapat keterbatasan yang melekat terkait minimnya publikasi akademis yang fokus dalam dekarbonisasi batu bara dan juga terkait kurangnya responden dari sisi pemerintah.

Kriteria PESTEL

Pada penelitian ini, kriteria utama masing-masing kategori PESTEL yang dipilih adalah sebagai berikut:

- Politik: Regulasi Pendukung
- Ekonomi: Biaya Investasi
- Sosial: Penerimaan Sosial
- Teknologi: Tingkat Kesiapan Teknologi
- Lingkungan: Kemampuan Pengurangan Emisi
- Legal: Pemenuhan Persyaratan Hukum

Kerangka Metode TOPSIS

Metode TOPSIS adalah metode analisis statistik yang digunakan untuk pengambilan keputusan multi-kriteria yang dikembangkan oleh Hwang dan Yoon [11]. Metode ini menentukan urutan preferensi dari objek evaluasi dengan membandingkan kesamaan antara kriteria dengan solusi ideal dan solusi ideal negatif. Solusi ideal mewakili himpunan objek evaluasi alternatif dengan nilai atribut terbaik, sedangkan solusi ideal negatif mewakili himpunan objek evaluasi alternatif dengan nilai atribut terburuk [11].

Berikut adalah langkah-langkah dari metode TOPSIS [12]

1. Peringkat dalam tiap alternatif

Pemberian peringkat untuk tiap alternatif A_i pada setiap kriteria yang dinormalisasi dengan:

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (1)$$

dengan $i = 1, 2, 3, \dots, m$ dan $j = 1, 2, 3, \dots, n$

2. Matriks keputusan ternormalisasi terbobot

$$Y_{ij} = w_i \cdot r_{ij} \quad (2)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, m$ dan $j = 1, 2, \dots, n$

3. Penentuan solusi ideal positif dan negatif
Solusi ideal positif dan negatif A^+ ditentukan berdasarkan peringkat bobot ternormalisasi (y_{ij})

$$A^+ = \max (y_1^+, y_2^+, y_3^+, \dots, y_n^+) \quad (3)$$

$$A^- = \min (y_1^+, y_2^+, y_3^+, \dots, y_n^+) \quad (4)$$

4. Jarak dengan solusi ideal

Jarak antara solusi ideal positif dan negatif dihitung dengan

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_i^+ - y_{ij})^2} \quad (5)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_i^- - y_{ij})^2} \quad (6)$$

5. Nilai preferensi untuk setiap alternatif
Nilai preferensi untuk setiap alternatif V_i diberikan sebagai:

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (7)$$

Nilai V_i yang lebih besar menunjukkan alternatif A_i lebih dipilih. Pada penelitian ini, pembobotan akan menggunakan metode *Eigenvector* sementara penilaian nilai kualitatif dari kriteria yang dipilih akan menggunakan variabel linguistik seperti yang dikembangkan oleh Chen [13] dengan modifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada MCDA, khususnya TOPSIS, terdapat tiga komponen utama yang digunakan dalam perhitungan untuk mendapatkan opsi terdekat dari solusi ideal. Tiga komponen tersebut adalah penentuan opsi dan kriteria, pembobotan kriteria, dan pembobotan nilai tiap kriteria dari tiap opsi yang ada.

Penentuan opsi sudah merujuk kepada beberapa pilihan dari praktik terbaik yang ada saat ini sedangkan kriteria sudah berdasarkan dengan tiap kriteria utama dari masing-masing aspek PESTEL. Untuk pembobotan kriteria, penelitian ini menggunakan Metode *Eigenvector* yang merupakan salah satu metode pembobotan vektor yang lazim digunakan untuk MCDA. *Eigenvector* sendiri memiliki definisi sebagai vektor yang bila dioperasikan oleh operator tertentu akan memberikan kelipatan skalar dari dirinya sendiri. Terakhir, variabel linguistik yang digunakan dalam pembobotan nilai tiap kriteria adalah agregat subjektif dari data koleksi sekunder yang ada. Variabel linguistik itu sendiri tercantum dalam nilai pada Tabel 1. sebagai berikut.

Tabel 1. Variabel linguistik untuk pembobotan nilai kriteria

Keterangan	Sangat Baik	Baik	Netral	Buruk	Sangat Buruk
Nilai	5	4	3	2	1

EigenVector Calculator: for Pairwise Comparisons

Comparison Matrix Size: 6 Auto Calculate

M	y1	y2	y3	y4	y5	y6
y1	1	1/2	3/2	1	2/3	1
y2	2	1	3/2	3/2	1	3/2
y3	2/3	2/3	1	1/2	1/2	1/2
y4	1	2/3	2	1	1	1
y5	3/2	1	2	1	1	3/2
y6	1	2/3	2	1	2/3	1

	Description	Unit
y1	Regulasi Pendukung	Linguistic
y2	Biaya Investasi	Linguistic
y3	Penerimaan Sosial	Linguistic
y4	Tingkat Kesiapan Teknologi	Linguistic
y5	Kemampuan Pengurangan Emisi	Linguistic
y6	Kepatuhan Hukum	Linguistic

Gambar 2. Penentuan pembobotan kriteria dengan menggunakan DMM

Output for: TOPSIS

Designs a1 to a6 Attributes y1 to y6 Decision Matrix Data

DM	y1	y2	y3	y4	y5	y6
a1	2	2	4	5	4	4
a2	3	1	3	3	3	3
a3	4	5	3	5	3	3
a4	4	4	3	3	2	3
a*	4	5	4	5	4	4
a-	2	1	3	3	2	3

TOPSIS Method

Ranked Solution: [6,1]

a1: 0.4100
a2: 0.1885
a3: 0.8054
a4: 0.5900
a5: 1.0000
a6: 0.0000

*** End of analysis. ***

Design Title
a1 Utilisasi Energi Baru dan Terbarukan
a2 Elektrifikasi Peralatan
a3 Peningkatan Efisiensi Proses
a4 Kompensasi Karbon
a* Best Possible Design
a- Worst Possible Design

Gambar 3. Perhitungan hasil akhir menggunakan variabel linguistik untuk setiap opsi dekarbonisasi

Semua proses dalam perhitungan TOPSIS ini dilakukan dalam perangkat lunak *Decision Matrix Methods* (DMM) yang dikembangkan oleh Newcastle University. Proses perhitungan terlampir dalam Gambar 2. Sebagai hasil awal dari penelitian ini, digunakan metode Eigenvector untuk menentukan bobot setiap kriteria. Sebab, strategi dekarbonisasi sangat bergantung pada biaya investasi, kategori ini menempati urutan pertama dengan persentase sekitar 27.9%, diikuti oleh kemampuan pengurangan emisi sebesar 20.93%. Pada regulasi dan kepatuhan hukum, mempunyai nilai yang sama yaitu sebesar 13.95%, sedangkan penerimaan sosial berada di urutan terakhir dengan nilai sebesar 9.3%.

Selanjutnya digunakan metode TOPSIS dengan variabel linguistik yang dimodifikasi untuk menentukan nilai setiap kriteria untuk setiap strategi dekarbonisasi. Strategi yang mempunyai jarak terdekat dengan solusi ideal positif fuzzy adalah yang bernilai mendekati 1 sedangkan strategi yang paling tidak disukai mempunyai jarak terdekat dengan solusi ideal negatif fuzzy yang

bernilai mendekati 0. Hasil terakhir perhitungan menunjukkan nilai akhir yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Strategi Dekarbonisasi

Strategi Dekarbonisasi	Nilai Topsis
Utilisasi Energi Terbarukan	0,4100
Elektrifikasi Peralatan	0,1855
Efisiensi Proses	0,8054
Kompensasi Karbon	0,5900

Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi operasional menempati peringkat pertama disusul dengan kompensasi karbon dan utilisasi energi terbarukan sedangkan elektrifikasi peralatan menempati urutan terakhir. Strategi efisiensi proses memiliki nilai TOPSIS tertinggi, yakni sebesar 0,8054. Hal ini terjadi dikarenakan matangnya teknologi dari proses efisiensi yang ada di pertambangan yang linear dengan penurunan biaya investasi. Solusi ini memerlukan manajemen energi strategis, teknologi informasi manajemen energi, standar manajemen energi, dan dalam berbagai aspek industri Penggunaan perangkat lunak untuk manajemen energi, evaluasi kinerja, optimalisasi teknologi [14] serta peningkatan kapasitas pegawai dalam pengoperasian alat adalah solusi-solusi efisiensi proses yang secara tidak langsung memangkas emisi yang cukup signifikan dari pembakaran bahan bakar. Pembakaran bahan bakar, stasioner maupun bergerak, adalah salah satu sumber emisi langsung terbesar di sektor pertambangan. Peningkatan efisiensi energi dalam proses industri menjadi kunci dalam mencapai dekarbonisasi yang berkelanjutan.

Regulasi aspek legal yang mendorong efisiensi proses juga menjadi alasan tingginya nilai efisiensi proses. Kedepannya, solusi ini dapat lebih berkembang dengan penggabungan data operasional dan inspeksi dengan analitik prediktif, pengidentifikasian otomatis peralatan yang membutuhkan perawatan atau penggantian, serta implementasi *Internet of Things* (IoT) dalam menghasilkan data ekstensif yang diperlukan.

Kompensasi karbon menempati peringkat kedua dengan nilai 0,5900. Dibukanya pasar karbon di Indonesia membuat regulasi dan legalitas mendapat nilai tinggi untuk opsi ini. Hal ini bermula dari adanya regulasi dari pemerintah Indonesia melalui Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2023 tentang Nilai Ekonomi Karbon (NEK), dengan tujuan dapat mendorong penurunan emisi GRK dan pencapaian target NDC 2030, dimana sektor pertambangan merupakan bagian dari sektor yang dapat berkontribusi secara langsung terhadap emisi GRK.

Kompensasi karbon tidak dapat digunakan sebagai solusi utama dalam pengurangan emisi pertambangan. Standar internasional layaknya *Science-based Target initiative* (SBTi) membatasi penggunaan opsi ini untuk mencegah terjadinya *greenwashing*. Namun, opsi ini layak dipertimbangkan mengingat biaya investasi dalam pembelian kredit karbon tidaklah begitu tinggi untuk tiap ton pengurangan emisi. Selain itu, energi terbarukan berada di tempat ketiga dengan nilai 0,4100. Walaupun memiliki tingkat kesiapan teknologi yang tinggi yang didukung dengan kemampuan pengurangan emisi dan penerimaan sosial, pengadaan energi terbarukan masih terhutang memiliki biaya investasi yang tinggi di sektor pertambangan. Terlebih lagi di Indonesia cukup memiliki legalitas dan peraturan yang cukup rumit dalam pengadaan energi terbarukan. Kondisi listrik Jawa-Bali yang masih kelebihan daya, kemampuan perusahaan tambang untuk menyediakan energi fosilnya sendiri membuat opsi ini akan menjadi lebih sedikit dipilih dibanding dua opsi sebelumnya.

Kondisi ini dapat dikatakan unik untuk Indonesia mengingat dalam satu dekade terakhir, teknologi energi terbarukan seperti tenaga angin dan surya telah menjadi sumber daya listrik dengan biaya terendah di dunia, dan biaya modal untuk teknologi ini terus menurun [15]. Oleh karena itu, dapat menjadi dorongan pemerintah agar dapat mempercepat pertumbuhan energi terbarukan sehingga lebih banyak lagi industri, khususnya pertambangan, yang memasukkan solusi ini dalam jumlah dan skala yang lebih masif dalam mengurangi emisinya. Terlebih lagi, perusahaan pertambangan dapat menggunakan opsi ini untuk situs-situs yang akan ditutup sebagai peningkatan nilai ekonomi dan lingkungan [16].

Strategi elektrifikasi peralatan memiliki nilai yang terendah, yakni 0,1855. Hal ini menunjukkan bahwa dalam konteks jangka pendek, strategi elektrifikasi peralatan mungkin bukan solusi utama, namun tetap memiliki potensi sebagai salah satu komponen strategi dekarbonisasi jangka panjang. Selain itu, sektor industri saat ini memiliki kontribusi lebih dari 40% terhadap total permintaan listrik global [17]. Elektrifikasi di sektor ini memiliki potensi besar untuk memberikan pendekatan yang berkelanjutan dalam strategi dekarbonisasi melalui pemenuhan berbagai kebutuhan proses industri seperti pemanasan, pendinginan, penerangan, proses elektrokimia, dan penggerak motor [17].

Saat ini antangan utama yang dihadapi adalah masalah biaya. Bahan bakar fosil masih seringkali memiliki harga akhir yang lebih murah dibandingkan dengan listrik di banyak negara. Oleh karena itu, upaya-upaya strategis perlu ditempuh untuk mengatasi kesenjangan biaya ini dan membuat elektrifikasi menjadi lebih ekonomis dalam

konteks industri. Salah satu pendekatan yang dapat diambil adalah dengan menggabungkan insentif, subsidi, serta integrasi sumber energi terbarukan seperti panel surya guna mengurangi biaya secara keseluruhan.

Selain itu, dalam konteks dekarbonisasi industri pertambangan batu bara di Indonesia, survei oleh peneliti yang dilakukan terhadap para profesional industri oleh peneliti mengungkap beberapa faktor kunci. Survei dilakukan terhadap beberapa ahli menilai beberapa sub-kriteria terhadap upaya dekarbonisasi pada sektor pertambangan di Indonesia dengan nilai 1 (tidak berpengaruh) hingga 5 (sangat berpengaruh). Dukungan regulasi, dengan skor rata-rata 4,15, dianggap sangat vital, menandakan pentingnya kebijakan dan regulasi yang efektif untuk mengarahkan industri ke arah pengurangan emisi. Biaya investasi, dengan penilaian tertinggi yaitu 4,4, dipandang sangat berpengaruh, menunjukkan peran krusial pertimbangan finansial dalam penerapan teknologi dan strategi dekarbonisasi. Penerimaan sosial, meski penting dengan skor 3,35, tidak dianggap kritical sebanding dengan faktor regulasi atau finansial. Kesiapan teknologi, dengan skor 4,2, menekankan pentingnya teknologi yang matang untuk dekarbonisasi yang efektif. Kemampuan pengurangan emisi dan kepatuhan hukum, masing-masing dengan skor 3,8, menyoroti pentingnya hasil nyata dalam pengurangan emisi dan kebutuhan untuk menyelaraskan upaya dekarbonisasi dengan hukum yang berlaku.

KESIMPULAN

Temuan ini menunjukkan bahwa dalam pembentukan strategi dekarbonisasi yang dilakukan oleh perusahaan batu bara, efisiensi proses sebaiknya menjadi komponen utama yang dipilih sebelum melakukan analisis lebih dalam mengenai opsi lain. Studi tekno-komersial terhadap sub-kategori efisiensi proses dapat dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui aktifitas-aktifitas yang dapat diefisiensikan guna mengurangi emisi. Selanjutnya perusahaan tambang bisa melakukan analisis mendalam secara bersamaan untuk pengurangan emisi dengan energi terbarukan dan kemungkinan kompensasi karbon sebelum menimbang elektrifikasi peralatan yang memiliki nilai terendah di dalam studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Enhanced NDC - Republic of Indonesia | UNFCCC*. (n.d.). Retrieved June 28, 2024, from https://unfccc.int/node/615083?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwm_SzBhAsEiwAXE2Cv43PLUEY86XNlrGmNxQJNmE8yN35GMHU84sSktr6v71FUtwfTTWW2BoCsu4QAvD_BwE

- [2] Energy Transition in the Power Sector and its Implication for the Coal Industry - IESR. (n.d.). Retrieved June 28, 2024, from <https://iesr.or.id/download/energy-transition-in-the-power-sector-and-its-implication-for-the-coal-industry/>
- [3] Enhancing Indonesia's Power System – Analysis - IEA. (n.d.). Retrieved June 28, 2024, from <https://www.iea.org/reports/enhancing-indonesias-power-system>
- [4] An Energy Sector Roadmap to Net Zero Emissions in Indonesia – Analysis - IEA. (n.d.). Retrieved June 28, 2024, from <https://www.iea.org/reports/an-energy-sector-roadmap-to-net-zero-emissions-in-indonesia>
- [5] Economic and financial risks of coal power in Indonesia, Vietnam and the Philippines - Carbon Tracker Initiative. (n.d.). Retrieved June 28, 2024, from <https://carbontracker.org/reports/economic-and-financial-risks-of-coal-power-in-indonesia-vietnam-and-the-philippines/>
- [6] Financing Indonesia's coal phase-out: A just and accelerated retirement pathway to net-zero | Center for Global Sustainability. (n.d.). Retrieved June 28, 2024, from <https://cgs.umd.edu/research-impact/publications/financing-indonesias-coal-phase-out-just-and-accelerated-retirement>
- [7] Soltanmohammadi, H., Osanloo, M., & Aghajani Bazzazi, A. (2010). An analytical approach with a reliable logic and a ranking policy for post-mining land-use determination. *Land Use Policy*, 27(2), 364–372. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2009.05.001>
- [8] Sindhu, S., Nehra, V., & Luthra, S. (2017). Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 496–511. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.01.135>
- [9] Li, T., Li, A., & Song, Y. (2021). Development and Utilization of Renewable Energy Based on Carbon Emission Reduction—Evaluation of Multiple MCDM Methods. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 9822, 13(17), 9822. <https://doi.org/10.3390/SU13179822>
- [10] Arratia-Solar, A., Svobodova, K., Lèbre, & Owen, J. R. (2022). Conceptual framework to assist in the decision-making process when planning for post-mining land-uses. *The Extractive Industries and Society*, 10, 101083. <https://doi.org/10.1016/J.EXIS.2022.101083>
- [11] Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making. 186. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- [12] Chamid, A. A. (2016). PENERAPAN METODE TOPSIS UNTUK MENENTUKAN PRIORITAS KONDISI RUMAH. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 7(2), 537–544. <https://doi.org/10.24176/SIMET.V7I2.765>
- [13] Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)
- [14] Sundaramoorthy, S., Kamath, D., Nimbalkar, S., Price, C., Wenning, T., & Cresko, J. (2023). Energy Efficiency as a Foundational Technology Pillar for Industrial Decarbonization. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 9487, 15(12), 9487. <https://doi.org/10.3390/SU15129487>
- [15] IESR 2023 Making Energy Transition Succeed A 2023s Update On The Levelized Cost of Electricity and Storage LCOE LCOS 1 | PDF. (n.d.). Retrieved June 28, 2024, from <https://iesr.or.id/pustaka/membuat-transisi-energi-berhasil-pembaruan-2023-tentang-levelized-cost-of-electricity-lcoe-dan-levelized-cost-of-storage-lcos>
- [16] Kirk, T., Lund, J., Natali, P., & Org, P. (n.d.). DECARBONIZATION PATHWAYS FOR MINES A HEADLAMP IN THE DARKNESS SUGGESTED CITATION EDITORIAL/DESIGN. Retrieved June 28, 2024, from <https://info.rmi.org/>
- [17] Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach – Analysis - IEA. (n.d.). Retrieved June 28, 2024, from <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>