



## Kajian Teknologi dan Metode Penambangan Ramah Lingkungan untuk Sumber Daya Mineral yang Tidak Terbarukan

Kasmira

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Pejuang Republik Indonesia, Indonesia

[kasmira211@gmail.com](mailto:kasmira211@gmail.com)

### Abstrak

Industri pertambangan memiliki peran yang sangat penting dalam perekonomian global dengan menyuplai bahan baku bagi berbagai sektor industri. Namun, kegiatan pertambangan, khususnya untuk sumber daya mineral yang tidak terbarukan seperti batu bara dan logam mulia, menimbulkan dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan, termasuk degradasi lahan, pencemaran air, dan kerusakan ekosistem. Oleh karena itu, pengembangan teknologi dan metode penambangan yang ramah lingkungan menjadi sangat penting untuk meminimalkan dampak tersebut, sambil tetap mempertahankan keberlanjutan produksi mineral. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji berbagai teknologi dan metode penambangan yang ramah lingkungan, serta efektivitasnya dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode pengumpulan data melalui studi literatur, wawancara dengan ahli, serta observasi lapangan pada lokasi penambangan yang telah menerapkan teknologi ramah lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa teknologi seperti penambangan bawah tanah dan penggunaan sistem hidro-metalurgi terbukti dapat mengurangi kerusakan lingkungan. Penambangan bawah tanah dapat mengurangi degradasi lahan dan kerusakan vegetasi, sementara hidro-metalurgi menawarkan solusi yang lebih efisien dengan menghasilkan limbah yang lebih sedikit dibandingkan metode konvensional. Meskipun demikian, penerapan teknologi ini menghadapi sejumlah tantangan, seperti biaya investasi yang tinggi, regulasi yang belum memadai, serta kurangnya pengetahuan dan keahlian di lapangan. Oleh karena itu, disarankan agar pemerintah memberikan insentif kepada perusahaan pertambangan yang mengimplementasikan teknologi ramah lingkungan, serta meningkatkan kapasitas sumber daya manusia melalui pelatihan dan pendidikan.

**Kata Kunci :** Hidro-Metalurgi, Teknologi, Logam Mulia, Mineral, Penambangan

### Pendahuluan

Industri pertambangan merupakan salah satu sektor yang memiliki peran penting dalam perekonomian dunia. Sebagai penyedia bahan baku untuk berbagai sektor industri, pertambangan memberi kontribusi signifikan terhadap pembangunan dan kemajuan teknologi.[1] Namun, di balik manfaat yang diberikan, pertambangan juga membawa dampak negatif yang cukup besar terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.[2] Aktivitas penambangan mineral yang tidak terbarukan, seperti batu bara, logam mulia, dan bahan tambang lainnya, sering kali menghasilkan kerusakan lingkungan yang meluas. Hal ini dapat berupa degradasi lahan, pencemaran air dan udara, serta hilangnya keanekaragaman hayati.[3]

Teknologi dan metode penambangan yang ramah lingkungan menjadi penting untuk dikembangkan dan diterapkan guna mengurangi dampak negatif tersebut.[4] Penambangan ramah lingkungan adalah pendekatan yang mengintegrasikan prinsip keberlanjutan, yakni melakukan eksploitasi sumber daya alam dengan mempertimbangkan aspek ekologis, sosial, dan ekonomi. Dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, berbagai metode penambangan yang lebih efisien dan ramah lingkungan kini mulai diuji coba dan diterapkan.[5]

Namun, penerapan teknologi ramah lingkungan dalam industri pertambangan masih menghadapi berbagai tantangan, baik dari sisi biaya, regulasi, maupun implementasi di lapangan. Oleh karena itu, penelitian mengenai teknologi dan metode penambangan yang ramah lingkungan menjadi sangat penting untuk dilakukan.[6] Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi berbagai teknologi dan metode yang dapat digunakan untuk mendukung praktik penambangan yang lebih berkelanjutan, sekaligus menilai sejauh mana efektivitasnya dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.[7]

Berbagai studi sebelumnya telah banyak meneliti dampak penambangan terhadap lingkungan. Salah satu bentuk dampak yang paling mencolok adalah degradasi lahan, yang sering terjadi akibat kegiatan penambangan terbuka. Menurut [8] proses penambangan terbuka, seperti yang dilakukan pada penambangan batubara, dapat merusak vegetasi alami dan menyebabkan erosi tanah yang parah. Selain itu, pencemaran air juga menjadi salah satu masalah utama dalam industri pertambangan, terutama karena proses pengolahan mineral seringkali menghasilkan limbah berbahaya yang mencemari sungai dan danau.[9]

Penerapan teknologi ramah lingkungan dalam penambangan mulai berkembang pada akhir abad ke-20 dan awal abad ke-21.[10] Beberapa teknologi, seperti penambangan bawah tanah dan penambangan dengan menggunakan sistem hidro-metallurgi, telah dikembangkan untuk mengurangi kerusakan lingkungan. Penambangan bawah tanah, misalnya, memungkinkan pengambilan mineral tanpa merusak permukaan tanah secara signifikan.[11] Sementara itu, teknologi hidrometalurgi, yang menggunakan larutan kimia untuk mengekstraksi mineral dari bijih, dianggap lebih ramah lingkungan karena menghasilkan lebih sedikit limbah dibandingkan dengan metode pirometalurgi tradisional yang melibatkan pembakaran.[12]

Di sisi lain, metode pengelolaan limbah juga menjadi fokus utama dalam penelitian teknologi ramah lingkungan. Sistem pengolahan limbah yang efisien dan aman dapat membantu mengurangi dampak negatif penambangan terhadap kualitas air dan tanah.[13] Beberapa metode pengolahan limbah yang telah diujicobakan antara lain pengolahan dengan menggunakan bakteri atau mikroorganisme yang dapat mendekomposisi bahan berbahaya, serta teknologi filter air yang mampu menghilangkan logam berat dari limbah tambang.[14]

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa implementasi prinsip-prinsip ekonomi sirkular dapat menjadi solusi untuk mengurangi dampak negatif penambangan. Dalam konteks ini, bahan-bahan yang dihasilkan oleh industri pertambangan, seperti tailing dan slag, dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku dalam industri lain, sehingga mengurangi kebutuhan akan sumber daya alam yang baru.[15]

## Metodologi

### 2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian deskriptif dengan pendekatan kualitatif. Pendekatan ini dipilih karena penelitian bertujuan untuk menggambarkan secara sistematis dan komprehensif mengenai teknologi dan metode penambangan ramah lingkungan yang telah diterapkan di berbagai negara, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitasnya.

### 2.2 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. **Studi Literatur:** Mengumpulkan informasi dari berbagai artikel ilmiah, buku, laporan penelitian, dan dokumen terkait yang membahas tentang teknologi dan metode penambangan ramah lingkungan.
2. **Wawancara:** Melakukan wawancara dengan para ahli di bidang pertambangan dan lingkungan, serta praktisi yang terlibat langsung dalam implementasi teknologi penambangan ramah lingkungan.
3. **Observasi Lapangan:** Melakukan observasi langsung pada beberapa lokasi penambangan yang sudah menerapkan teknologi ramah lingkungan, untuk memperoleh data yang lebih konkrit mengenai pelaksanaan di lapangan.

### 2.3 Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dari studi literatur, wawancara, dan observasi lapangan akan dianalisis dengan menggunakan teknik analisis deskriptif kualitatif. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola-pola yang muncul dalam penerapan teknologi dan metode penambangan ramah lingkungan, serta untuk mengevaluasi keberhasilan dan tantangan yang dihadapi dalam implementasinya.

**Tabel 2.1 Metodologi Penelitian**

| No. | Topik Penelitian                                            | Tujuan Penelitian                                                                                                                                                        | Metode Pengumpulan Data                                                   | Faktor yang Diperhatikan                                                            |
|-----|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Implementasi Metode Pertanian Berkelanjutan di Indonesia    | Menggambarkan penerapan metode pertanian berkelanjutan di berbagai daerah di Indonesia, serta tantangan dan keberhasilan dalam implementasinya.                          | Wawancara mendalam, observasi, studi dokumentasi                          | Akses terhadap teknologi, pelatihan petani, kebijakan pemerintah                    |
| 2   | Penggunaan Teknologi Energi Terbarukan di Negara Berkembang | Menggambarkan penerapan teknologi energi terbarukan di negara berkembang, serta faktor-faktor sosial, ekonomi, dan politik yang mempengaruhi adopsi dan implementasinya. | Wawancara dengan pejabat pemerintah, praktisi energi, masyarakat setempat | Faktor sosial, ekonomi, kebijakan pemerintah, akses terhadap teknologi              |
| 3   | Pengelolaan Sumber Daya Alam di Kawasan Hutan Tropis        | Menggambarkan pengelolaan sumber daya alam di kawasan hutan tropis, serta keseimbangan antara penambangan dan pelestarian lingkungan.                                    | Wawancara dengan masyarakat lokal, pemangku kepentingan, praktisi         | Keberhasilan pengelolaan hutan, regulasi yang diterapkan, persepsi masyarakat lokal |

## Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Teknologi Penambangan Ramah Lingkungan yang Diterapkan

Berdasarkan hasil studi literatur, ditemukan bahwa beberapa teknologi penambangan ramah lingkungan yang telah diterapkan antara lain:

1. **Penambangan Bawah Tanah:** Teknologi ini mengurangi dampak kerusakan permukaan tanah, karena mineral diambil dari bawah tanah tanpa merusak lapisan atasnya.
2. **Penggunaan Sistem Hidro-Metalurgi:** Metode ini menggunakan bahan kimia ramah lingkungan untuk mengekstraksi mineral dari bijih, menghasilkan limbah yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode konvensional.
3. **Reklamasi Lahan Pasca-Tambang:** Beberapa perusahaan pertambangan mulai menerapkan program reklamasi lahan yang berkelanjutan untuk mengembalikan fungsi ekosistem setelah penambangan selesai dilakukan.

**Tabel 3.1 Data Teknologi Penambangan Ramah Lingkungan**

| ID | Teknologi                         | Deskripsi                                                                                                                    | Dampak Lingkungan          | Keuntungan                                                                                   |
|----|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Penambangan Bawah Tanah           | Teknologi yang mengurangi kerusakan permukaan tanah dengan menambang mineral dari bawah tanah tanpa merusak lapisan atasnya. | Mengurangi degradasi lahan | Mengurangi kerusakan vegetasi, minimalkan erosi tanah, menjaga ekosistem permukaan           |
| 2  | Penggunaan Sistem Hidro-Metalurgi | Metode ekstraksi mineral menggunakan bahan kimia ramah lingkungan yang menghasilkan lebih sedikit limbah                     | Mengurangi pencemaran air  | Limbah lebih sedikit, lebih ramah lingkungan, efisiensi lebih tinggi dalam ekstraksi mineral |

|   |                               |                                                                                                                                 |                               |                                                                                                        |  |
|---|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|   |                               | dibandingkan metode konvensional.                                                                                               |                               |                                                                                                        |  |
| 3 | Reklamasi Lahan Pasca-Tambang | Program reklamasi yang dilakukan setelah penambangan untuk mengembalikan fungsi ekosistem dan menjaga keberlanjutan lingkungan. | Mengembalikan ekosistem alami | Memperbaiki tanah, mengurangi polusi, memperbaiki keanekaragaman hayati dan mengembalikan fungsi tanah |  |

### 3.2 Tantangan dalam Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan

Beberapa tantangan yang dihadapi dalam penerapan teknologi penambangan ramah lingkungan antara lain:

1. **Biaya yang Tinggi:** Beberapa teknologi ramah lingkungan membutuhkan investasi yang lebih besar, yang bisa menjadi hambatan bagi perusahaan tambang, terutama di negara berkembang.
2. **Regulasi yang Belum Memadai:** Meskipun beberapa negara telah mengeluarkan regulasi yang mendukung praktik penambangan ramah lingkungan, masih banyak negara yang belum memiliki kebijakan yang cukup kuat dalam hal ini.
3. **Kurangnya Pengetahuan dan Keahlian:** Implementasi teknologi baru memerlukan pengetahuan dan keahlian yang mendalam, yang kadang-kadang tidak tersedia di negara berkembang.

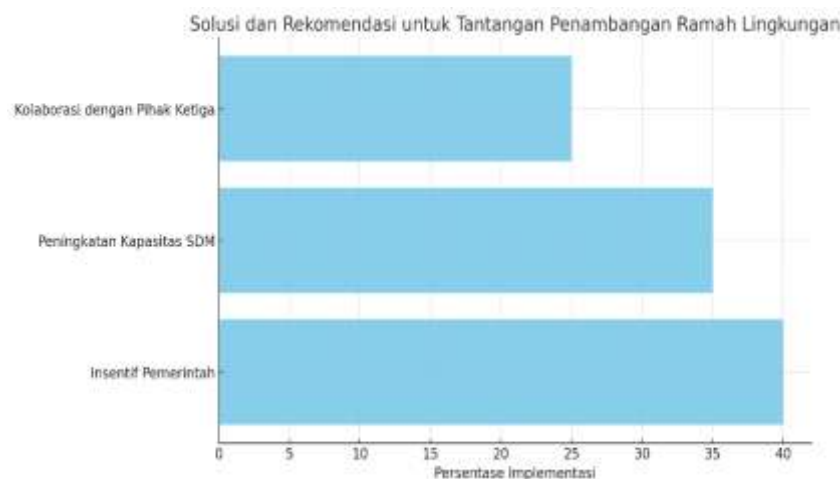
**Tabel 3.2 Data Tantangan dalam Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan**

| ID | Tantangan                          | Deskripsi                                                                                                                               | Dampak                                                                                              | Solusi yang Disarankan                                                                                                           |
|----|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Biaya yang Tinggi                  | Teknologi ramah lingkungan memerlukan biaya investasi yang lebih besar, yang menjadi kendala terutama di negara berkembang.             | Hambatan dalam implementasi teknologi karena keterbatasan dana dan anggaran di perusahaan tambang   | Penyediaan insentif fiskal dari pemerintah, subsidi, atau pengurangan pajak untuk mendukung investasi teknologi ramah lingkungan |
| 2  | Regulasi yang Belum Memadai        | Banyak negara belum memiliki regulasi yang cukup kuat untuk mendukung penerapan teknologi ramah lingkungan dalam industri pertambangan. | Terhambatnya penerapan teknologi ramah lingkungan karena ketidakjelasan atau kelemahan regulasi     | Penguatan kebijakan pemerintah dan pengembangan regulasi yang lebih mendukung penerapan teknologi ramah lingkungan               |
| 3  | Kurangnya Pengetahuan dan Keahlian | Teknologi baru memerlukan pengetahuan dan keahlian yang mendalam, yang kadang tidak tersedia, terutama di negara berkembang.            | Kesulitan dalam implementasi teknologi baru di lapangan karena kurangnya keterampilan dan pelatihan | Penyediaan pelatihan, kursus, dan program pendidikan untuk meningkatkan keahlian pekerja di bidang teknologi ramah lingkungan    |

### 3.3 Solusi dan Rekomendasi

Untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut, beberapa solusi dan rekomendasi yang dapat diterapkan antara lain:

1. **Insentif Pemerintah:** Pemerintah dapat memberikan insentif kepada perusahaan pertambangan yang mengimplementasikan teknologi ramah lingkungan, seperti pengurangan pajak atau subsidi.
2. **Peningkatan Kapasitas Sumber Daya Manusia:** Program pelatihan dan pendidikan untuk para pekerja tambang dan profesional di bidang ini dapat membantu meningkatkan kemampuan dalam menerapkan teknologi ramah lingkungan.
3. **Kolaborasi dengan Pihak Ketiga:** Perusahaan pertambangan dapat bekerja sama dengan lembaga riset, organisasi non-pemerintah, atau perusahaan teknologi untuk mengembangkan solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.



Gambar 3.3 Solusi Dan Rekomendasi

**Insentif Pemerintah (40%):** Pemerintah dapat memberikan insentif seperti pengurangan pajak atau subsidi untuk mendukung perusahaan pertambangan yang mengimplementasikan teknologi ramah lingkungan. **Peningkatan Kapasitas Sumber Daya Manusia (SDM) (35%):** Pelatihan dan pendidikan untuk pekerja tambang serta profesional di bidang ini dapat meningkatkan kemampuan dalam menerapkan teknologi ramah lingkungan. **Kolaborasi dengan Pihak Ketiga (25%):** Kerja sama dengan lembaga riset, organisasi non-pemerintah, atau perusahaan teknologi dapat mengembangkan solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

### Kesimpulan

Penambangan mineral yang tidak terbarukan memegang peranan penting dalam ekonomi global, namun kegiatan ini sering menimbulkan dampak negatif yang besar terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan dan mengimplementasikan teknologi serta metode penambangan yang ramah lingkungan. Penelitian ini telah mengidentifikasi beberapa teknologi yang telah diterapkan, seperti penambangan bawah tanah dan penggunaan sistem hidro-metalurgi, yang terbukti dapat mengurangi dampak lingkungan. Namun, penerapan teknologi ini juga menghadapi berbagai tantangan, terutama terkait dengan biaya, regulasi, dan keahlian. Untuk itu, diperlukan upaya bersama antara pemerintah, industri, dan masyarakat untuk menciptakan ekosistem yang mendukung penerapan teknologi penambangan ramah lingkungan secara lebih luas. Pemerintah dapat memainkan peran penting dalam memberikan insentif bagi perusahaan yang berkomitmen terhadap keberlanjutan, sementara sektor industri perlu terus berinovasi dan beradaptasi dengan perkembangan teknologi terbaru. Ke depan, penting bagi penelitian lebih lanjut untuk terus menggali potensi teknologi baru yang lebih efisien dan berdampak rendah terhadap lingkungan. Hal ini tidak hanya akan membawa manfaat bagi industri pertambangan, tetapi juga bagi kelestarian alam dan kesejahteraan masyarakat global.

**Daftar Pustaka**

- [1] L. Rendón-Castrillón, M. Ramírez-Carmona, C. Ocampo-López, and L. Gómez-Arroyave, "Bioleaching techniques for sustainable recovery of metals from solid matrices," *Sustainability*, vol. 15, no. 13, p. 10222, 2023, doi: 10.3390/su151310222.
- [2] V. V. Ranade and L. J. Broadbelt, "Welcome to Volume 3 of ACS Engineering Au," *ACS Eng. Au*, vol. 3, no. 1, pp. 1–2, 2023, doi: 10.1021/acseengineeringau.3c00001.
- [3] A. E. K. Saidi, R. El Khawaja, and D. C. Boffito, "A review of traditional and intensified hydrometallurgy techniques to remove chromium and vanadium from solid industrial waste," *ACS Eng. Au*, 2023, doi: 10.1021/acseengineeringau.3c00046.
- [4] L. Rendón-Castrillón, M. Ramírez-Carmona, C. Ocampo-López, and L. Gómez-Arroyave, "Bioleaching Techniques for Sustainable Recovery of Metals from Solid Matrices," *Sustain.*, vol. 15, no. 13, 2023, doi: 10.3390/su151310222.
- [5] A. Upadhyay, T. Laing, V. Kumar, and M. Dora, "Exploring barriers and drivers to the implementation of circular economy in the mining industry," *Resour. Policy*, vol. 74, p. 102037, 2021, doi: 10.1016/j.resourpol.2021.102037.
- [6] P. Kinnunen, M. Karhu, E. Yli-Rantala, P. Kivikyto-Reponen, and J. Mäkinen, "A review of circular economy strategies for mine tailings," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 8, p. 100499, 2022, doi: 10.1016/j.clet.2022.100499.
- [7] C. Cacciuttolo, P. Valenzuela, F. Valverde, and M. Pino, "The implementation of dry stacking of filtered tailings in the Norte de Chile district: Current status and future challenges," *Minerals*, vol. 13, no. 11, p. 1445, 2023, doi: 10.3390/min13111445.
- [8] C. C. Furnell, "Dewatered and stacked mine tailings: A review," *ACS ES&T Eng.*, 2022, doi: 10.1021/acsestengg.1c00480.
- [9] M. Ortega-Tong, F. Ponce-Canchumani, and P. Guagliardo, "In situ recovery of copper: Identifying mineralogical controls using X-ray computed tomography and microfluidics," *ACS ES&T Eng.*, 2023, doi: 10.1021/acsestengg.2c00404.
- [10] R. Wang, T. J. Senden, and R. Snieder, "Modelling in-situ recovery (ISR) of copper at the Kapunda mine," *Miner. Eng.*, vol. 186, p. 107752, 2022, doi: 10.1016/j.mineng.2022.107752.
- [11] A. Benoutman *et al.*, "Phytochemical Composition, Antioxidant and Antifungal Activity of *Thymus capitatus*, a Medicinal Plant Collected from Northern Morocco," *Antibiotics*, vol. 11, no. 5, 2022, doi: 10.3390/antibiotics11050681.
- [12] Y. Jiao, C. Zhang, P. Su, Y. Tang, Z. Huang, and T. Ma, "A review of acid mine drainage: Formation mechanism, treatment technology, typical engineering cases and resource utilization," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 170, pp. 1240–1260, 2023, doi: 10.1016/j.psep.2022.12.083.
- [13] C. Wang, "A review of passive acid mine drainage treatment by permeable reactive barriers (PRB)," *Environ. Res.*, vol. 246, p. 118545, 2024, doi: 10.1016/j.envres.2024.118545.
- [14] N. Okada, "Optimizing multi-spectral ore sorting incorporating microwave irradiation for mineral processing," *Sci. Rep.*, vol. 14, p. 62166, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-62166-0.
- [15] B. Marmiroli, S. Venditti, F. Gori, and M. Zimek, "Life cycle assessment in mineral processing—A review of the role of flotation," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 27, no. 1, pp. 62–81, 2022, doi: 10.1007/s11367-021-02005-w.