

# Community Empowerment to Address Technology and HR Barriers in Rare Earth Development

## Pemberdayaan Masyarakat untuk Mengatasi Hambatan Teknologi dan SDM dalam Pengembangan Rare Earth

Felix Sutisna<sup>1</sup>, Ester Ananda Natalia<sup>2\*</sup>, Dwi Andayani<sup>3</sup>, Umi Rusilowati<sup>4</sup>,

Kristina Vaher<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Economy and Business, Universitas Multimedia Nusantara, Indonesia

<sup>2</sup>Faculty of Science and Technology, University of Raharja, Indonesia

<sup>3</sup>Lembaga Ketahanan Nasional, Indonesia

<sup>4</sup>Post Graduate Magister Management, Pamulang University, Indonesia

<sup>5</sup>Ilearning Incorporation, Estonia

<sup>1</sup>felix.sutisna@lecturer.umn.ac.id, <sup>2\*</sup>ester.ananda@raharja.info, <sup>3</sup>dwiandayani03@gmail.com, <sup>4</sup>dosen00061@unpam.ac.id,

<sup>5</sup>vaheer.kristin@ilearning.ee

\*Penulis Korespondensi

### Article Info

#### Riwayat Artikel:

Penyerahan 25 Februari 2025

Revisi 27 Maret 2025

Diterima 17 Mei 2025

Diterbitkan 18 November 2025

#### Keywords:

Rare Earth Elements

Community Empowerment

Technology

Infrastructure

Human Resources

#### Kata Kunci:

Rare Earth Elements

Pemberdayaan Masyarakat

Teknologi

Infrastruktur

SDM



### ABSTRACT

Indonesia holds significant **potential in Rare Earth Elements (REE)**, which play an essential role in supporting the clean energy transition and strengthening national industrialization. However, the downstream development of REE still faces major obstacles in the aspects of technology, infrastructure, and human resources (HR), resulting in suboptimal national value creation. This study **aims to describe community** empowerment strategies as an alternative approach to overcoming REE downstream challenges in Indonesia, emphasizing community involvement in enhancing technological capacity, developing local infrastructure, and improving the quality of human resources. The research employs a **qualitative approach** based on literature review, descriptive analysis, and reflections from community service practices. Data were obtained from secondary sources such as academic journals, policy reports, and previous studies. **The findings** indicate that community empowerment can be achieved through local capacity building, collaboration among academics, industry, and communities, as well as infrastructure development tailored to regional needs. This strategy aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly Goal 8 which focuses on decent work and economic growth, Goal 9 which promotes industry, innovation, and infrastructure, and Goal 11 which emphasizes sustainable cities and communities, highlighting inclusive economic development and community resilience. The downstreaming of REE cannot rely solely on top-down industrial policies. Its success requires active **community participation** through integrated and continuous empowerment strategies to achieve inclusive and sustainable national development.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



### ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi besar *Rare Earth Elements (REE)* yang berperan penting dalam mendukung transisi energi bersih dan penguatan industrialisasi nasional. Namun, **hilirisasi REE** masih terkendala hambatan utama pada aspek teknologi, infrastruktur, dan Sumber Daya Manusia (SDM), sehingga nilai tambah nasional belum optimal. **Penelitian ini bertujuan**

untuk mendeskripsikan strategi pemberdayaan masyarakat sebagai pendekatan alternatif dalam mengatasi hambatan hilirisasi REE di Indonesia, dengan menekankan keterlibatan masyarakat dalam memperkuat kapasitas teknologi, pengembangan infrastruktur lokal, dan peningkatan kualitas SDM. **Metode** yang digunakan adalah pendekatan kualitatif berbasis studi literatur, analisis deskriptif, serta refleksi dari praktik pengabdian kepada masyarakat. Data diperoleh dari sumber sekunder seperti jurnal akademik, laporan kebijakan, dan penelitian terdahulu. **Hasil kajian** menunjukkan bahwa pemberdayaan masyarakat dapat diwujudkan melalui peningkatan kapasitas lokal, kolaborasi antara akademisi, industri, dan komunitas, serta pengembangan infrastruktur sesuai kebutuhan daerah. Strategi ini sejalan dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya Tujuan 8 yang berfokus pada pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi, Tujuan 9 yang mendorong industri, inovasi, dan infrastruktur, serta Tujuan 11 yang menitikberatkan pada kota dan komunitas berkelanjutan, yang menekankan pembangunan ekonomi inklusif dan penguatan komunitas berkelanjutan. Hilirisasi REE tidak dapat hanya bertumpu pada kebijakan industri yang bersifat top-down. Keberhasilan proses ini memerlukan keterlibatan aktif masyarakat melalui **strategi pemberdayaan** yang terintegrasi dan berkesinambungan guna mewujudkan pembangunan nasional yang inklusif dan berkelanjutan.

*Ini adalah artikel akses terbuka di bawah [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.*



DOI: <https://doi.org/10.34306/adimas.v6i1.1340>

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah CC-BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

©Penulis memegang semua hak cipta

## 1. PENDAHULUAN

*Rare Earth Elements* (REE) merupakan kelompok mineral strategis yang semakin penting dalam mendukung transisi energi global dan perkembangan berbagai industri berteknologi tinggi, seperti kendaraan listrik, energi terbarukan, elektronik, dan industri pertahanan [1]. Dalam era ketika negara-negara berlomba mempercepat penggunaan energi bersih dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, REE menjadi salah satu faktor kunci yang menentukan kapasitas inovasi serta daya saing teknologi suatu bangsa. Ketersediaan dan pemanfaatan REE bahkan dipandang sebagai indikator kesiapan suatu negara dalam menghadapi dinamika ekonomi global yang semakin berorientasi pada teknologi hijau dan digitalisasi. Indonesia sebagai negara kaya sumber daya alam memiliki potensi cadangan REE yang cukup besar dan tersebar di berbagai wilayah, mulai dari Pulau Sumatera, Kalimantan, hingga Sulawesi. Potensi tersebut menempatkan Indonesia pada posisi strategis untuk mengambil peran penting dalam rantai pasok global, sekaligus memperkuat agenda industrialisasi nasional melalui pengembangan industri hilir berbasis mineral kritis [2]. Namun demikian, peluang besar ini belum sepenuhnya dimanfaatkan secara optimal.

Hilirisasi sebagai upaya meningkatkan nilai tambah dari REE masih menghadapi hambatan struktural dan teknis yang cukup kompleks. Berbagai studi menunjukkan bahwa tiga faktor utama yang menghambat percepatan hilirisasi adalah keterbatasan teknologi pemurnian dan pemisahan, infrastruktur pengolahan yang belum memadai, serta kurangnya SDM yang menguasai kompetensi spesifik di bidang pengolahan mineral strategis [3]. Selain hambatan teknis, permasalahan tata kelola dan minimnya transfer teknologi dari industri global juga turut memperlambat proses industrialisasi berbasis REE di Indonesia. Kondisi ini menyebabkan Indonesia berisiko tetap berada pada posisi sebagai pemasok bahan mentah, sehingga kehilangan peluang besar untuk memperoleh manfaat ekonomi jangka panjang dari rantai nilai industri berbasis REE. Urgensi untuk mengatasi hambatan tersebut semakin besar seiring meningkatnya kebutuhan dunia terhadap REE. Jika tidak dilakukan intervensi yang tepat dan berkelanjutan, Indonesia berpotensi kehilangan momentum untuk menjadikan REE sebagai pilar strategis industrialisasi nasional [4]. Selain itu, masyarakat di sekitar daerah penghasil REE dapat menghadapi risiko sosial, kesehatan, dan lingkungan apabila aktivitas pertambangan berlangsung tanpa pemberdayaan dan pendampingan yang memadai [5]. Pada banyak kasus, masyarakat lokal sering kali tidak memperoleh manfaat langsung dari pemanfaatan sumber daya alam di wilayah mereka, sehingga muncul kesenjangan sosial dan ketidakadilan distribusi manfaat.

Berbeda dari penelitian terdahulu yang lebih banyak menyoroiti hilirisasi REE dari aspek teknis, ekonomi, atau kebijakan industri secara top down, kajian ini mengedepankan pendekatan yang menempatkan pemberdayaan masyarakat sebagai inti proses hilirisasi berkelanjutan. Pendekatan ini memandang bahwa keberhasilan pengembangan industri mineral strategis sangat ditentukan oleh keterlibatan aktif dan peningkatan kapasitas komunitas lokal. Oleh karena itu, model yang diusulkan mengintegrasikan dimensi sosial, teknologi, dan infrastruktur

dalam satu kerangka kolaboratif berbasis *quadruple helix*, yang melibatkan pemerintah, akademisi, industri, dan masyarakat sebagai aktor utama pembangunan. Perspektif ini memberikan kontribusi konseptual baru berupa model hilirisasi partisipatif berbasis komunitas, yang memperluas pemahaman mengenai hilirisasi REE tidak hanya sebagai agenda teknis industri, tetapi juga sebagai proses sosial-ekonomi yang menuntut inklusivitas dan keberlanjutan.



Gambar 1. Sustainable Development Goals (SDGs) 8, 9 dan 11

Lebih jauh lagi, pendekatan ini sejalan dengan agenda *Sustainable Development Goals* (SDGs) seperti pada Gambar 1 yang khususnya mendukung Tujuan 8 (Pekerjaan Layak dan Pertumbuhan Ekonomi), Tujuan 9 (Industri, Inovasi, dan Infrastruktur), serta Tujuan 11 (Kota dan Komunitas Berkelanjutan). Melalui penguatan kapasitas masyarakat lokal baik dalam bentuk pelatihan, pendampingan, maupun peningkatan literasi teknologi kajian ini menawarkan kontribusi nyata bagi upaya membangun ekosistem industri yang lebih adil dan berkelanjutan. Partisipasi aktif masyarakat dalam proses hilirisasi tidak hanya dapat meningkatkan kesejahteraan lokal, tetapi juga memperkuat ketahanan ekonomi daerah dan memastikan bahwa penggunaan teknologi dan eksploitasi sumber daya alam berjalan dengan prinsip keberlanjutan. Dengan demikian, hilirisasi REE dapat dipahami bukan hanya sebagai agenda industrialisasi semata, melainkan sebagai wujud implementasi pembangunan berkelanjutan yang menempatkan masyarakat sebagai bagian integral dari transformasi menuju masa depan yang inklusif, inovatif, dan berdaya saing global.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Hilirisasi REE dipahami sebagai rangkaian proses pengolahan mineral dari bahan mentah menjadi produk antara maupun produk akhir yang bernilai tambah lebih tinggi [6]. Dalam kerangka pembangunan ekonomi nasional, hilirisasi memiliki peran penting karena dapat memperkuat kemandirian industri, meningkatkan daya saing global, serta mengurangi ketergantungan terhadap pasokan dari negara lain. Selain itu, hilirisasi berkontribusi terhadap penciptaan lapangan kerja, peningkatan devisa, dan transfer teknologi yang mendukung pembangunan berkelanjutan di era transisi energi. Dalam perspektif pembangunan sosial, pemberdayaan masyarakat merupakan pendekatan yang menekankan keterlibatan aktif komunitas dalam pengelolaan sumber daya dan pengambilan keputusan [7]. Partisipasi masyarakat dipandang penting untuk meningkatkan kapasitas, kemandirian, dan kesejahteraan kolektif. Pada konteks hilirisasi REE, pemberdayaan masyarakat berfungsi sebagai jembatan antara agenda industrialisasi nasional dengan kebutuhan dan kepentingan lokal [8]. Dengan demikian, masyarakat tidak hanya menjadi penonton dari eksploitasi sumber daya, tetapi juga dapat berperan sebagai aktor yang memperoleh manfaat nyata [9].

Meski demikian, hilirisasi REE di Indonesia masih menghadapi sejumlah hambatan. Keterbatasan teknologi menjadi masalah utama karena proses pemurnian REE memerlukan metode yang kompleks dan berisiko lingkungan tinggi. Hambatan infrastruktur juga terlihat pada masih terbatasnya sarana transportasi, energi, dan fasilitas industri di daerah penghasil REE yang sebagian besar berada jauh dari pusat pertumbuhan [10]. Sementara itu, hambatan sumber daya manusia muncul karena minimnya tenaga ahli dan kurangnya keterampilan masyarakat untuk terlibat langsung dalam pengolahan maupun pengelolaan industri berbasis REE. Hambatan-hambatan tersebut bersifat saling berkaitan dan menjadi tantangan serius bagi Indonesia untuk keluar dari ketergantungan sebagai eksportir bahan mentah.

Sejumlah penelitian terkini menegaskan pentingnya hilirisasi mineral sebagai strategi pembangunan industri nasional. Penelitian terdahulu menyoroti bahwa kemandirian dalam pengelolaan sumber daya mineral membutuhkan dukungan teknologi domestik yang memadai agar tidak sepenuhnya bergantung pada negara lain. Keberhasilan hilirisasi REE di Tiongkok tidak hanya ditentukan oleh penguasaan teknologi, tetapi juga integrasi antara kebijakan industri dan partisipasi masyarakat dalam menjaga keberlanjutan lingkungan. Lebih jauh, studi [11] menekankan bahwa pemberdayaan masyarakat lokal di sekitar wilayah pertambangan dapat memperkuat kapasitas sosial-ekonomi sekaligus mengurangi resistensi terhadap pembangunan industri baru. Dengan merujuk pada penelitian tersebut, dapat dipahami bahwa hilirisasi REE di Indonesia memerlukan pendekatan ganda: penguatan aspek teknologi dan infrastruktur, serta pemberdayaan masyarakat sebagai aktor utama dalam proses transformasi.

### 3. METODE PELAKSANAAN

Pengabdian ini dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif yang memungkinkan peneliti memperoleh pemahaman menyeluruh mengenai hambatan hilirisasi REE serta merumuskan strategi pemberdayaan masyarakat yang relevan dengan kondisi aktual. Pendekatan kualitatif dipilih karena sifat permasalahan yang dikaji lebih menekankan pada konteks sosial, dinamika kebijakan, kapasitas teknologi, serta kondisi sumber daya manusia, yang tidak dapat direduksi menjadi angka semata. Dengan demikian, proses interpretasi menjadi esensial untuk memahami hubungan antara struktur kebijakan, kepentingan pemangku kepentingan, dan potensi masyarakat lokal dalam ekosistem hilirisasi REE [12]. Data penelitian diperoleh melalui kajian literatur yang komprehensif, mencakup artikel jurnal terindeks, buku ilmiah, regulasi nasional, laporan kebijakan pemerintah, serta publikasi lembaga resmi yang relevan dengan pengembangan mineral strategis. Pemilihan literatur dilakukan melalui penelusuran sistematis dengan mempertimbangkan kesesuaian tema, kredibilitas sumber, dan kebaruan informasi dalam lima tahun terakhir untuk memastikan bahwa data yang diolah mencerminkan kondisi terkini [13]. Seluruh literatur yang memenuhi kriteria inklusi kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi model hilirisasi yang telah diterapkan pada komoditas strategis lainnya, hambatan teknologi dan infrastruktur yang umum terjadi, serta pola pemberdayaan masyarakat yang telah terbukti efektif pada wilayah pertambangan.

Selain studi literatur, pengabdian ini juga melibatkan pengumpulan data lapangan dalam skala terbatas untuk memvalidasi informasi yang diperoleh dari sumber sekunder. Pengumpulan data lapangan dilakukan melalui wawancara semi-terstruktur kepada pemangku kepentingan lokal, seperti perwakilan pemerintah daerah, akademisi, tokoh masyarakat, dan pelaku usaha kecil yang terkait dengan rantai nilai pertambangan. Wawancara ini bertujuan menggali persepsi mereka terhadap kesiapan masyarakat dalam mendukung hilirisasi, tingkat pemahaman mengenai teknologi REE, serta bentuk dukungan yang dibutuhkan untuk meningkatkan partisipasi. Observasi singkat terhadap kondisi infrastruktur wilayah juga dilakukan untuk memahami tantangan praktis yang sering kali tidak tercatat dalam laporan resmi. Kegiatan lapangan ini sekaligus berfungsi sebagai mekanisme triangulasi untuk meningkatkan validitas temuan.

Proses analisis dilakukan menggunakan metode analisis tematik yang berjalan melalui beberapa tahap. Tahap pertama adalah familiarization, yaitu proses pembacaan menyeluruh terhadap seluruh sumber data untuk memahami konteks umum serta mengidentifikasi ide-ide awal terkait hambatan hilirisasi. Tahap kedua adalah coding, di mana data diberi label untuk menandai informasi yang berkaitan dengan isu teknologi, infrastruktur, dan sumber daya manusia sebagai tiga hambatan utama yang menjadi fokus penelitian [14]. Setelah coding selesai dilakukan, tahap ketiga berupa kategorisasi tema dilaksanakan untuk mengelompokkan kode yang serupa dan menemukan pola keterkaitan antartema. Tahap akhir adalah interpretasi, yaitu menghubungkan pola tematik dengan konsep pemberdayaan masyarakat serta prinsip pembangunan berkelanjutan guna merumuskan strategi yang dapat diterapkan secara realistis [15].

Alur penelitian dirancang secara bertahap agar hasil yang diperoleh bersifat sistematis dan logis. Tahap pertama adalah identifikasi masalah, yaitu memetakan kondisi aktual hilirisasi REE di Indonesia beserta hambatan dan potensi yang relevan [16]. Tahap kedua adalah analisis mendalam terhadap hambatan di bidang teknologi, infrastruktur, dan sumber daya manusia untuk menemukan akar permasalahan serta keterhubungan di antara ketiganya. Tahap ketiga adalah perumusan strategi pemberdayaan masyarakat yang mempertimbangkan potensi lokal, kebutuhan komunitas di sekitar wilayah pertambangan, dan peluang kolaborasi antaraktor—termasuk akademisi, industri, dan pemerintah daerah. Pendekatan ini dirancang untuk menghasilkan rekomendasi yang bersifat konseptual sekaligus aplikatif, sehingga dapat mendukung proses hilirisasi REE yang lebih inklusif dan berkelanjutan. Melalui kombinasi kajian literatur, pengumpulan data lapangan terbatas, serta analisis tematik yang sistematis, pengabdian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai tantangan struktural dalam

hilirisasi REE dan menghadirkan strategi pemberdayaan masyarakat yang tidak hanya sesuai konteks, tetapi juga mampu memperkuat partisipasi komunitas lokal sebagai aktor penting dalam rantai nilai mineral strategis nasional.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berbagai hambatan yang dihadapi dalam proses hilirisasi REE di Indonesia serta strategi pemberdayaan masyarakat yang dapat diterapkan untuk mengatasinya. Berdasarkan hasil observasi, analisis literatur, dan kegiatan pengabdian yang dilakukan, ditemukan bahwa tantangan utama terletak pada tiga aspek penting, yaitu teknologi, infrastruktur, dan sumber daya manusia. Ketiga aspek ini saling berkaitan dan berpengaruh langsung terhadap efektivitas implementasi hilirisasi REE di tingkat lokal. Melalui pemetaan hambatan ini, diharapkan dapat dirumuskan strategi yang lebih komprehensif dan berkelanjutan untuk memperkuat kemandirian industri nasional sekaligus meningkatkan kesejahteraan masyarakat di sekitar wilayah penghasil REE.

##### 4.1. Hambatan Teknologi

Keterbatasan dalam penguasaan teknologi pengolahan menyebabkan proses pemanfaatan sumber daya ini belum optimal. Tantangan tersebut muncul mulai dari tahap eksplorasi hingga pemurnian, di mana kemampuan riset dan infrastruktur pendukung masih belum memadai untuk mengimbangi kompleksitas karakteristik mineral REE. Kondisi ini menjadi dasar perlunya pembahasan lebih mendalam terkait berbagai hambatan teknologi yang dihadapi dalam proses hilirisasi.

###### 4.1.1. Kompleksitas Proses Pengolahan

REE memiliki peran vital dalam berbagai industri strategis, mulai dari energi terbarukan, elektronik canggih, hingga teknologi pertahanan [17]. Namun, proses pengolahannya jauh lebih kompleks dibandingkan dengan mineral konvensional. Tidak seperti tembaga atau nikel yang dapat diolah menggunakan teknik yang relatif sederhana, REE selalu bercampur dengan mineral lain dan memerlukan tahapan pemurnian yang panjang. Proses seperti *solvent extraction* atau *ion exchange* tidak hanya membutuhkan investasi besar, tetapi juga menghasilkan limbah yang bersifat radioaktif. Kondisi ini menimbulkan tantangan besar bagi Indonesia karena teknologi semacam ini belum sepenuhnya dikuasai oleh lembaga riset domestik maupun industri nasional.

Keterbatasan penguasaan teknologi menyebabkan sebagian besar hasil eksplorasi REE di Indonesia masih dipasarkan dalam bentuk konsentrat mentah. Situasi ini secara langsung membatasi nilai tambah yang seharusnya dapat diperoleh dari potensi sumber daya tersebut. Akibatnya, Indonesia berisiko hanya berperan sebagai pemasok bahan mentah dengan nilai jual yang relatif rendah, alih-alih menjadi pemain strategis dalam rantai pasok global. Padahal, apabila proses hilirisasi dapat dilakukan secara optimal di dalam negeri, potensi ekonomi yang dihasilkan akan jauh lebih signifikan [18]. Hilirisasi yang berhasil tidak hanya berkontribusi pada peningkatan devisa melalui ekspor produk bernilai tinggi, tetapi juga membuka peluang penciptaan lapangan kerja baru, memperluas basis penerimaan pajak, dan memperkuat pengembangan industri turunan yang relevan seperti manufaktur elektronik, energi terbarukan, serta teknologi pertahanan. Oleh karena itu, penguasaan teknologi pengolahan REE menjadi faktor kunci dalam menentukan posisi Indonesia di rantai pasok global sekaligus memperkuat kemandirian ekonomi nasional secara berkelanjutan.

###### 4.1.2. Minimnya Kapasitas Riset

Permasalahan teknologi semakin diperparah oleh keterbatasan kapasitas riset dalam negeri. Lembaga akademik dan penelitian memang telah mulai mengkaji REE, namun sebagian besar kajian masih berfokus pada aspek eksplorasi geologi dan identifikasi potensi cadangan [19]. Penelitian yang berkaitan dengan teknologi pengolahan, pemurnian, serta rekayasa material masih sangat terbatas. Rendahnya intensitas penelitian ini dapat dimaklumi karena penguasaan teknologi REE membutuhkan laboratorium berstandar tinggi, sumber daya manusia yang terlatih, serta dukungan pendanaan yang besar. Sayangnya, ketiga aspek tersebut belum menjadi prioritas utama dalam agenda riset nasional.

Kondisi ini menimbulkan kesenjangan yang signifikan antara besarnya potensi sumber daya REE dan kemampuan pengolahan yang dimiliki di dalam negeri. Tanpa dukungan riset yang kuat dan berkelanjutan, Indonesia akan terus bergantung pada paten dan teknologi asing dalam mengelola sumber daya strategis tersebut [20]. Ketergantungan ini tidak hanya melemahkan posisi ekonomi nasional dalam rantai pasok global, tetapi juga membatasi kedaulatan teknologi yang seharusnya menjadi fondasi utama dalam memperkuat industrialisasi. Selain itu, Indonesia kehilangan kesempatan untuk mengembangkan model teknologi pengolahan yang sesuai dengan karakteristik geologi lokal serta kondisi sosial-ekonomi masyarakat di sekitar wilayah pertambangan [21]. Dampaknya,

proses transfer pengetahuan menjadi terhambat, inovasi domestik berjalan lambat, dan partisipasi masyarakat lokal dalam memperoleh manfaat ekonomi dari sumber daya mineral strategis tersebut menjadi sangat terbatas.

#### 4.1.3. Dampak Ketergantungan Teknologi

Ketergantungan terhadap teknologi asing dalam pengolahan REE menimbulkan implikasi multidimensi yang perlu dicermati secara serius. Dari perspektif ekonomi, nilai tambah yang seharusnya diperoleh melalui proses hilirisasi justru lebih banyak dinikmati oleh pihak luar negeri, sehingga Indonesia kehilangan peluang untuk memperkuat basis industri nasional dan meningkatkan daya saing global [22]. Dari sisi politik, kondisi ini juga melemahkan kedaulatan negara karena Indonesia tidak memiliki kendali penuh terhadap rantai pasok strategis, yang pada akhirnya menimbulkan kerentanan terhadap tekanan eksternal.

Sementara itu, dari aspek sosial, masyarakat lokal sering kali hanya menjadi penonton dalam proses industrialisasi tanpa memperoleh manfaat langsung yang proporsional. Ironisnya, mereka justru lebih sering merasakan dampak negatif berupa degradasi lingkungan dan risiko kesehatan akibat aktivitas pertambangan yang tidak dikelola secara berkelanjutan [23]. Oleh karena itu, hambatan teknologi dalam hilirisasi REE tidak dapat dipandang hanya sebagai persoalan teknis, melainkan sebagai permasalahan struktural yang mencakup dimensi ekonomi, politik, dan sosial. Diperlukan strategi yang komprehensif, berorientasi pada kemandirian teknologi, serta berbasis pada pemberdayaan masyarakat agar Indonesia mampu memanfaatkan potensi REE secara adil, mandiri, dan berkelanjutan.

#### 4.1.4. Strategi Pemberdayaan Masyarakat Bidang Teknologi

Hambatan tersebut pada dasarnya dapat ditransformasi menjadi peluang strategis bagi pemberdayaan masyarakat apabila dikelola secara tepat. Meskipun penguasaan teknologi tinggi dalam pengolahan REE membutuhkan sumber daya besar dan keahlian khusus, masyarakat tidak harus langsung diarahkan pada level tersebut [24]. Sebaliknya, mereka dapat dilibatkan dalam penguasaan teknologi dasar yang relevan dengan kebutuhan lokal. Salah satu langkah konkret adalah pembentukan pusat riset berbasis komunitas yang berfungsi sebagai jembatan antara universitas dan masyarakat. Melalui pusat ini, generasi muda dan masyarakat sekitar dapat mengakses pengetahuan praktis seperti teknik karakterisasi mineral sederhana, pengujian laboratorium dasar, serta pengolahan limbah dalam skala kecil.

Inisiatif semacam ini tidak hanya memperluas kapasitas masyarakat untuk berpartisipasi aktif dalam proses hilirisasi, tetapi juga menciptakan ekosistem pembelajaran berkelanjutan yang mendukung transfer pengetahuan dari akademisi dan industri ke komunitas lokal [25]. Dengan demikian, keterlibatan masyarakat dalam penguasaan teknologi dasar menjadi pondasi penting bagi kemandirian daerah sekaligus memperkuat keberlanjutan hilirisasi REE di Indonesia. Selain itu, model kolaborasi *triple helix* antara akademisi, industri, dan masyarakat perlu diperluas. Industri dapat menyediakan fasilitas dasar, universitas memberikan kontribusi keilmuan, dan masyarakat mendukung dengan potensi serta sumber daya lokal yang dimiliki. Melalui pendekatan ini, proses transfer pengetahuan tidak hanya terjadi di ruang kuliah atau laboratorium, tetapi juga secara langsung di lapangan bersama komunitas. Jika strategi ini dilaksanakan secara konsisten, masyarakat akan berperan sebagai subjek aktif dalam penguasaan teknologi, bukan sekadar objek pembangunan [26].

## 4.2. Hambatan Infrastruktur

Selain kendala pada aspek teknologi, proses hilirisasi REE di Indonesia juga menghadapi tantangan serius pada sektor infrastruktur. Ketersediaan sarana dan prasarana dasar seperti akses transportasi, jaringan energi, serta fasilitas logistik masih sangat terbatas, terutama di wilayah penghasil REE yang umumnya berada jauh dari pusat kegiatan industri. Kondisi ini tidak hanya memperlambat proses pengolahan dan distribusi hasil tambang, tetapi juga menimbulkan kesenjangan pembangunan antara daerah tambang dan wilayah perkotaan. Oleh karena itu, pemetaan hambatan infrastruktur menjadi langkah penting untuk memahami akar permasalahan yang menghambat keberlanjutan hilirisasi di tingkat lokal.

### 4.2.1. Lokasi Tambang Terpencil dan Keterbatasan Energi

Kendala berikutnya terletak pada aspek infrastruktur. Sebagian besar cadangan REE di Indonesia berada di wilayah terpencil dengan akses jalan yang sulit, jauh dari pelabuhan, serta minim fasilitas transportasi [27]. Kondisi tersebut menyebabkan biaya logistik meningkat secara signifikan. Selain itu, pasokan energi yang tidak stabil menjadi hambatan utama. Fasilitas pengolahan REE membutuhkan suplai listrik dalam jumlah besar dan berkesinambungan, namun di sebagian besar daerah penghasil REE, infrastruktur energi masih terbatas dan belum terintegrasi dengan baik [28].

Keterbatasan ini menurunkan daya tarik investasi karena investor cenderung enggan menanamkan modal di wilayah yang minim infrastruktur pendukung. Akibatnya, pengembangan industri hilirisasi berjalan lambat dan tidak merata. Dampaknya juga dirasakan oleh masyarakat lokal yang tinggal di sekitar kawasan tambang. Meskipun hidup di daerah yang kaya akan sumber daya mineral strategis, mereka tetap menghadapi keterbatasan akses terhadap listrik, air bersih, dan transportasi publik. Paradoks ini menunjukkan bahwa pembangunan infrastruktur di daerah tambang belum diarahkan secara inklusif dan berorientasi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat setempat.

#### 4.2.2. Dampak Sosial Keterbatasan Infrastruktur

Keterbatasan infrastruktur tidak hanya memengaruhi efisiensi aktivitas industri, tetapi juga berdampak langsung pada kualitas kehidupan sosial masyarakat di wilayah tambang [5]. Minimnya akses transportasi dan logistik menyebabkan harga kebutuhan pokok di daerah tersebut cenderung lebih tinggi dibandingkan wilayah lain, sehingga menambah beban ekonomi rumah tangga. Ketimpangan pembangunan pun semakin terlihat, di mana kawasan perkotaan mengalami kemajuan pesat, sementara daerah penghasil REE justru tertinggal dan tidak memperoleh fasilitas dasar yang memadai.

Kondisi ini mendorong terjadinya marjinalisasi masyarakat lokal, yang ironisnya tinggal di wilayah kaya sumber daya namun tidak menikmati hasil pembangunan secara adil. Dalam jangka panjang, ketidakseimbangan antara potensi ekonomi dan kesejahteraan sosial dapat menimbulkan ketidakpuasan masyarakat, memperlebar kesenjangan antarwilayah, serta berpotensi memicu konflik horizontal antara masyarakat, pemerintah, dan industri pengelola sumber daya. Oleh karena itu, penyediaan infrastruktur yang inklusif, berkelanjutan, dan berbasis kebutuhan lokal menjadi prasyarat penting untuk menciptakan proses hilirisasi REE yang adil, produktif, dan berkeadilan sosial [29].

#### 4.2.3. Strategi Pemberdayaan Infrastruktur Berbasis Komunitas

Untuk mengatasi hambatan infrastruktur, pembangunan harus dirancang secara partisipatif dengan melibatkan masyarakat sebagai aktor utama. Salah satu langkah konkret yang dapat dilakukan adalah membangun *industrial hub* berbasis lokal, yaitu kawasan industri terpadu yang fasilitasnya dapat dimanfaatkan secara bersama oleh pelaku industri dan komunitas sekitar [30]. Koperasi masyarakat juga dapat berperan dalam pengelolaan logistik skala kecil, seperti distribusi barang pokok, hasil pertanian, maupun hasil tambang, sehingga aktivitas ekonomi lokal dapat tumbuh seiring dengan pengembangan industri hilirisasi.

Selain itu, pemanfaatan energi terbarukan skala kecil, seperti panel surya, mikrohidro, atau biomassa, dapat menjadi solusi strategis untuk mengatasi keterbatasan energi di wilayah tambang. Jika dikelola secara mandiri oleh komunitas, energi tersebut tidak hanya mendukung kebutuhan rumah tangga, tetapi juga menopang kegiatan industri kecil dan menengah di daerah tersebut [31]. Dengan demikian, pembangunan infrastruktur yang berbasis komunitas tidak hanya berfungsi sebagai pendukung ekspansi industri besar, tetapi juga menjadi instrumen pemberdayaan yang memperkuat kemandirian ekonomi masyarakat lokal serta menciptakan ekosistem pembangunan yang inklusif dan berkelanjutan.

### 4.3. Hambatan Sumber Daya Manusia (SDM)

Selain hambatan teknologi dan infrastruktur, tantangan lain yang tidak kalah penting dalam proses hilirisasi REE di Indonesia adalah keterbatasan SDM. Keberhasilan hilirisasi sangat bergantung pada ketersediaan tenaga kerja yang memiliki kompetensi teknis, kemampuan manajerial, serta pemahaman terhadap prinsip keberlanjutan. Namun, kesenjangan antara kebutuhan industri dan kapasitas SDM yang ada masih cukup lebar. Kondisi ini menunjukkan bahwa pembangunan sektor REE tidak hanya memerlukan dukungan teknologi dan fasilitas fisik, tetapi juga investasi serius dalam peningkatan kualitas manusia sebagai penggerak utama industrialisasi.

#### 4.3.1. Minimnya Kompetensi Tenaga Ahli

Hilirisasi REE memerlukan SDM dengan kompetensi tinggi di bidang-bidang spesifik seperti geologi, metalurgi, kimia lingkungan, dan teknologi material. Namun, jumlah tenaga ahli di bidang tersebut di Indonesia masih sangat terbatas. Kurikulum pendidikan pun belum sepenuhnya selaras dengan kebutuhan industri strategis yang berkembang pesat [32]. Akibatnya, industri mengalami kesulitan dalam merekrut tenaga kerja lokal yang memiliki kompetensi sesuai kebutuhan, sehingga memperlambat proses penguasaan teknologi dan inovasi di tingkat nasional.

---

### 4.3.2. Konsekuensi Sosial-Ekonomi dari Keterbatasan SDM

Keterbatasan kualitas dan ketersediaan SDM di sektor REE menimbulkan berbagai konsekuensi signifikan [6]. Salah satunya adalah meningkatnya ketergantungan perusahaan pada tenaga kerja asing untuk mengisi posisi strategis yang membutuhkan keahlian tinggi. Kondisi ini berdampak pada lambatnya proses transfer pengetahuan, karena keterampilan dan pengalaman tenaga kerja asing tidak sepenuhnya terdiseminasi kepada masyarakat lokal. Akibatnya, masyarakat di sekitar wilayah tambang cenderung hanya terserap pada sektor pekerjaan kasar dengan tingkat upah rendah serta kontribusi yang terbatas terhadap pengembangan industri [33]. Dalam jangka panjang, situasi ini berpotensi memperlebar kesenjangan sosial dan ekonomi, di mana masyarakat lokal tetap berada pada posisi marginal meskipun hidup di kawasan dengan potensi ekonomi besar. Jika tidak segera diatasi, ketimpangan ini dapat menimbulkan resistensi sosial terhadap proyek hilirisasi dan mengurangi legitimasi pembangunan industri strategis berbasis REE di Indonesia.

### 4.3.3. Strategi Penguatan SDM melalui Pemberdayaan

Untuk menjawab tantangan tersebut, pemberdayaan masyarakat di bidang pengembangan SDM menjadi langkah yang krusial. Pendidikan vokasi yang disesuaikan dengan kebutuhan industri REE dapat mencetak tenaga kerja terampil dalam waktu relatif singkat [34]. Selain itu, pelatihan komunitas berbasis keterampilan praktis perlu diperkuat agar masyarakat dapat berpartisipasi langsung dalam rantai produksi dan operasional industri. Skema beasiswa kolaboratif antara pemerintah, perguruan tinggi, dan industri juga penting untuk membuka akses pendidikan tinggi bagi generasi muda lokal di bidang yang relevan. Dengan strategi tersebut, masyarakat tidak hanya berperan sebagai pekerja lapangan, tetapi juga memiliki peluang untuk menduduki posisi strategis dalam proses hilirisasi [35]. Pendekatan ini sekaligus memperkuat kapasitas lokal dan memastikan bahwa pengembangan industri REE di Indonesia berjalan secara inklusif, berkeadilan, dan berorientasi pada keberlanjutan jangka panjang.

## 4.4. Integrasi Strategi Pemberdayaan

Setelah mengidentifikasi berbagai tantangan yang mencakup aspek teknologi, infrastruktur, dan sumber daya manusia, penting untuk memahami bahwa ketiga elemen tersebut tidak berdiri sendiri. Proses hilirisasi REE merupakan sistem yang saling terhubung, di mana keberhasilan satu aspek sangat bergantung pada keberfungsian aspek lainnya. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan integratif yang mampu menghubungkan seluruh komponen secara sinergis agar strategi pemberdayaan yang diterapkan tidak bersifat parsial, melainkan menyeluruh dan berkelanjutan. Pendekatan ini menjadi dasar dalam membangun model penguatan hilirisasi yang berorientasi pada kolaborasi dan kemandirian nasional.

### 4.4.1. Keterkaitan Antar hambatan

Hambatan pada aspek teknologi, infrastruktur, dan SDM tidak dapat dianalisis secara terpisah karena ketiganya saling berkaitan dan memiliki hubungan timbal balik yang kuat [36]. Keterbatasan dalam penguasaan teknologi akan menghambat pengembangan kualitas SDM, sementara tanpa SDM yang kompeten, teknologi yang telah tersedia tidak dapat dioperasikan secara efektif. Demikian pula, tanpa dukungan infrastruktur yang memadai, baik penguasaan teknologi maupun pemanfaatan SDM tidak dapat berjalan optimal. Oleh karena itu, upaya penguatan hilirisasi REE memerlukan pendekatan yang terintegrasi dan sistemik, dengan menyinergikan ketiga aspek tersebut dalam satu kerangka strategis [37]. Pendekatan holistik ini diharapkan mampu menciptakan ekosistem pembangunan yang tidak hanya berfokus pada industrialisasi, tetapi juga mendorong keberlanjutan, kemandirian, serta inklusivitas masyarakat lokal dalam seluruh tahapan proses hilirisasi.

### 4.4.2. Sinergi Multipihak dan Model *Quadruple Helix*

Pendekatan integratif tersebut dapat diwujudkan melalui sinergi multipihak yang melibatkan empat unsur utama pembangunan. Pemerintah berperan sebagai regulator yang menetapkan kebijakan dan menyediakan dukungan infrastruktur dasar, universitas berfungsi sebagai pusat riset dan pengembangan teknologi, industri menjadi penyedia fasilitas serta penggerak hilirisasi, sedangkan masyarakat berperan sebagai aktor lokal yang menjaga keberlanjutan dan memberikan kontribusi sosial-ekonomi di tingkat komunitas [38]. Melalui model *quadruple helix*, pembangunan hilirisasi REE dapat bergerak dari pola yang bersifat top-down menuju pendekatan yang partisipatif dan kolaboratif [39]. Sinergi antarpihak ini memungkinkan pertukaran pengetahuan, percepatan inovasi, serta peningkatan kapasitas masyarakat dalam mendukung kemandirian teknologi nasional. Dengan demikian, hilirisasi REE tidak hanya menghasilkan nilai ekonomi, tetapi juga memperkuat fondasi sosial dan kelembagaan dalam jangka panjang.

Untuk memastikan strategi pemberdayaan dapat diimplementasikan secara nyata, penerapan konsep *quadruple helix* perlu disesuaikan dengan karakteristik wilayah penghasil REE. Sebagai contoh, daerah Bangka Belitung dan Kalimantan Barat yang memiliki potensi cadangan REE dapat dijadikan lokasi percontohan pengembangan industrial hub berbasis komunitas [40]. Di wilayah tersebut, universitas lokal dapat berperan sebagai pusat riset terapan, pemerintah daerah menyediakan dukungan infrastruktur dasar dan regulasi, sementara masyarakat dilibatkan dalam pelatihan vokasi serta pengelolaan koperasi logistik dan energi terbarukan [41]. Pendekatan berbasis lokasi seperti ini memperkuat relevansi praktis strategi pemberdayaan, memastikan manfaat hilirisasi REE dapat dirasakan langsung oleh komunitas setempat, sekaligus meningkatkan kemandirian ekonomi daerah.

#### 4.5. Literasi Digital dan Inklusivitas Lokal

Literasi digital merupakan salah satu komponen penting dalam strategi integrasi pemberdayaan masyarakat pada proses hilirisasi REE. Penguasaan keterampilan digital memungkinkan masyarakat memperoleh akses informasi yang lebih luas, mengikuti program pelatihan daring secara fleksibel, serta berpartisipasi aktif dalam mekanisme pengawasan dan transparansi proyek di wilayah mereka [42]. Selain itu, kemampuan digital juga mempermudah masyarakat untuk memahami perkembangan kebijakan, teknologi, serta pasar global yang berkaitan dengan mineral kritis seperti REE. Pemahaman ini penting agar masyarakat tidak hanya menjadi penerima dampak, tetapi juga mampu mengambil posisi strategis dalam proses pengembangan industri. Dengan demikian, literasi digital tidak hanya meningkatkan kapasitas individu untuk beradaptasi dengan transformasi teknologi, tetapi juga memperkuat akuntabilitas publik dan mendorong keterlibatan masyarakat dalam proses pembangunan industri strategis yang lebih inklusif dan responsif terhadap kebutuhan lokal.

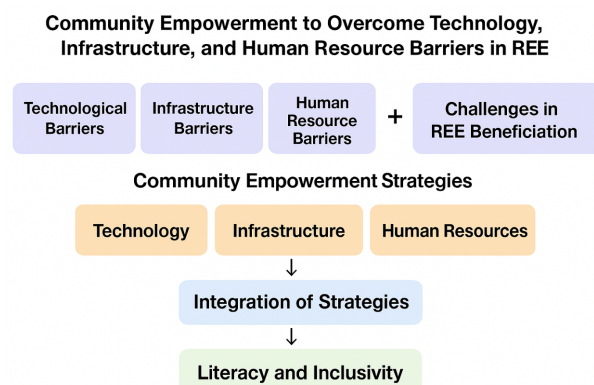
Selain itu, pemanfaatan teknologi digital membuka peluang bagi terciptanya inklusivitas lokal, di mana manfaat hilirisasi dapat dirasakan secara merata oleh masyarakat luas, bukan hanya oleh pihak-pihak yang memiliki akses terhadap sumber daya dan jaringan tertentu. Melalui literasi digital yang baik, masyarakat dapat memanfaatkan teknologi untuk mempromosikan produk lokal, membangun jejaring ekonomi baru, serta mengembangkan usaha mikro berbasis komunitas yang didukung platform digital. Literasi digital juga berperan sebagai katalis dalam menjembatani kesenjangan informasi, memperluas peluang kolaborasi dengan pihak eksternal, dan meningkatkan kemampuan masyarakat dalam memanfaatkan platform daring untuk pemasaran, komunikasi, maupun advokasi. Lebih jauh lagi, keterampilan digital mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih partisipatif, di mana masyarakat dapat terlibat secara aktif dalam diskusi publik, konsultasi kebijakan, pengawasan tata kelola pertambangan, maupun forum komunitas berbasis digital [43]. Oleh karena itu, literasi digital perlu dipandang sebagai instrumen kunci dalam mewujudkan hilirisasi REE yang berkeadilan, adaptif terhadap perkembangan teknologi, serta berorientasi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan. Literasi digital pada akhirnya menjadi fondasi penting untuk memastikan bahwa masyarakat tidak sekadar menjadi objek pembangunan, tetapi berperan sebagai subjek yang mampu berpartisipasi, berinovasi, dan mengarahkan arah pembangunan industri REE sesuai kepentingan mereka.

#### 4.6. Visualisasi Hambatan dan Strategi

Tabel 1. Hambatan Hilirisasi REE dan Strategi Pemberdayaan Masyarakat

Aspek Hambatan	Bentuk Hambatan	Strategi Pemberdayaan Masyarakat
Teknologi	Pengolahan REE kompleks, biaya tinggi, riset lokal terbatas, ketergantungan asing	Pusat riset komunitas, pelatihan riset terapan, kolaborasi universitas–industri–masyarakat
Infrastruktur	Lokasi tambang terpencil, energi dan logistik terbatas, manfaat tidak inklusif	<i>Industrial hub</i> berbasis lokal, teknologi tepat guna, partisipasi komunitas
SDM	Minim tenaga ahli, kurikulum pendidikan tidak relevan, masyarakat hanya jadi pekerja kasar	Pendidikan vokasi khusus REE, pelatihan komunitas, beasiswa kolaboratif
Integrasi	Hambatan saling terkait, pembangunan cenderung top-down	Sinergi multipihak, literasi digital, inklusivitas lokal dalam pengelolaan hilirisasi

Tabel 1 menjelaskan keterkaitan antara berbagai hambatan dalam proses hilirisasi REE dengan strategi pemberdayaan masyarakat yang dapat diterapkan untuk mengatasinya. Setiap aspek hambatan seperti teknologi, infrastruktur, SDM, dan integrasi kebijakan memiliki pendekatan yang berbeda namun saling melengkapi. Pada aspek teknologi, pemberdayaan masyarakat dapat dilakukan melalui pembentukan pusat riset komunitas serta kolaborasi antara universitas, industri, dan masyarakat untuk memperkuat kapasitas riset lokal. Selanjutnya, aspek infrastruktur menekankan pentingnya pembangunan industrial hub berbasis lokal dan penerapan teknologi tepat guna agar manfaat pembangunan dapat dirasakan secara inklusif oleh masyarakat. Pada aspek SDM, strategi yang relevan meliputi pendidikan vokasi, pelatihan komunitas, dan beasiswa kolaboratif untuk meningkatkan keterampilan masyarakat lokal dalam industri REE. Sementara itu, pada aspek integrasi, sinergi multipihak melalui model *quadruple helix* menjadi kunci dalam menyatukan pemerintah, akademisi, industri, dan masyarakat dalam satu ekosistem pembangunan yang partisipatif. Dengan demikian, Tabel 1 tidak hanya memaparkan bentuk hambatan yang dihadapi, tetapi juga memberikan arah strategis pemberdayaan masyarakat sebagai fondasi keberhasilan hilirisasi REE yang berkelanjutan dan inklusif.



Gambar 2. Integrasi Strategi Pemberdayaan Masyarakat dalam Hilirisasi REE

Gambar 2 menggambarkan alur integrasi strategi pemberdayaan masyarakat dalam mengatasi hambatan hilirisasi REE di Indonesia. Pada bagian atas, terlihat tiga hambatan utama yaitu teknologi, infrastruktur, dan sumber daya manusia yang secara bersama-sama menimbulkan tantangan dalam proses hilirisasi REE. Untuk menjawab tantangan tersebut, pendekatan pemberdayaan masyarakat dilakukan melalui tiga strategi utama, yaitu peningkatan kapasitas teknologi lokal, penguatan infrastruktur berbasis komunitas, dan pengembangan kompetensi SDM. Ketiga strategi ini kemudian diintegrasikan menjadi suatu kerangka kolaboratif yang berorientasi pada literasi dan inklusivitas masyarakat. Melalui integrasi ini, pemberdayaan masyarakat tidak hanya berfungsi sebagai solusi terhadap hambatan struktural, tetapi juga menjadi fondasi menuju pembangunan industri REE yang inklusif, berkelanjutan, dan berkeadilan sosial.

## 5. IMPLIKASI MANAJERIAL

Implikasi manajerial dari penelitian ini menegaskan bahwa keberhasilan hilirisasi REE sangat ditentukan oleh kemampuan seluruh pemangku kepentingan dalam membangun integrasi kebijakan, strategi, dan implementasi yang konsisten di lapangan. Pemerintah tidak hanya perlu menciptakan regulasi yang ramah investasi, tetapi juga memastikan bahwa setiap kebijakan memberikan ruang bagi partisipasi aktif masyarakat lokal sebagai penerima manfaat utama. Hal ini dapat diwujudkan melalui penyediaan program pendidikan vokasi yang relevan dengan kebutuhan industri, penguatan riset terapan yang berbasis komunitas, hingga penetapan insentif bagi perusahaan yang berkomitmen menerapkan prinsip keberlanjutan dan inklusivitas sosial dalam proses bisnisnya. Pendekatan ini akan membantu menciptakan iklim industri REE yang lebih adaptif, bertanggung jawab, dan selaras dengan tujuan pembangunan jangka panjang. Selain itu, lembaga akademik dan sektor industri memiliki tanggung jawab strategis dalam menciptakan ekosistem kolaboratif yang tidak hanya bersifat formal, tetapi juga mampu menghasilkan dampak nyata bagi penguatan kapasitas lokal. Perguruan tinggi perlu memperbarui kurikulum, metode pembelajaran, serta agenda riset agar lebih responsif terhadap dinamika sektor REE dan kebutuhan kompetensi masa depan. Di sisi lain, industri harus membangun hubungan kemitraan yang lebih intensif melalui program transfer teknologi, magang, pelatihan teknis, dan pendampingan masyarakat, sehingga terjadi peningkatan keter-

ampilan yang berkelanjutan. Dengan mengoptimalkan sinergi keempat aktor dalam kerangka *quadruple helix* pemerintah, akademisi, industri, dan masyarakat dalam upaya hilirisasi REE tidak hanya berpotensi meningkatkan efektivitas rantai pasok mineral strategis, tetapi juga memperkuat daya saing daerah, menciptakan peluang ekonomi baru, serta mendorong terwujudnya kesejahteraan masyarakat di wilayah penghasil REE secara lebih merata dan berkelanjutan.

## 6. KESIMPULAN

Hilirisasi REE di Indonesia menghadapi tantangan yang kompleks pada aspek teknologi, infrastruktur, dan sumber daya manusia. Hambatan tersebut mencakup keterbatasan penguasaan teknologi pemurnian, lemahnya kapasitas riset nasional, infrastruktur yang belum merata di wilayah tambang, serta kekurangan tenaga ahli dengan kompetensi spesifik di bidang REE. Jika kondisi ini terus dibiarkan, Indonesia berisiko tetap berada pada posisi sebagai pengekspor bahan mentah tanpa memperoleh nilai tambah yang signifikan bagi pembangunan ekonomi nasional. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan strategis yang tidak hanya berorientasi pada industrialisasi, tetapi juga pada penguatan kapasitas masyarakat sebagai aktor utama dalam pembangunan. Melalui strategi pemberdayaan masyarakat, hambatan-hambatan tersebut dapat diubah menjadi peluang untuk memperkuat kemandirian daerah, menciptakan lapangan kerja baru, serta meningkatkan daya saing nasional di sektor mineral strategis.

Implikasi dari kajian ini menunjukkan bahwa hilirisasi REE tidak dapat dipandang semata-mata sebagai proyek industri, tetapi harus dilihat sebagai agenda pembangunan sosial yang inklusif. Partisipasi aktif masyarakat dalam setiap tahapan hilirisasi, mulai dari riset terapan, pengelolaan sumber daya, hingga pembangunan infrastruktur berbasis komunitas, menjadi faktor kunci bagi keberhasilan transformasi ini. Dengan melibatkan masyarakat secara langsung, proses hilirisasi tidak hanya menghasilkan nilai ekonomi, tetapi juga menumbuhkan rasa kepemilikan, memperkuat legitimasi sosial, serta mengurangi potensi konflik antara masyarakat dan industri. Di sisi lain, peningkatan kapasitas SDM melalui pendidikan vokasi, pelatihan teknis, dan literasi digital akan memperluas peluang partisipasi masyarakat dalam sektor industri berbasis REE, sehingga manfaat pembangunan dapat dirasakan secara merata dan berkelanjutan.

Berdasarkan hasil analisis, pemerintah bersama lembaga akademik dan industri perlu membangun sinergi jangka panjang melalui kebijakan dan program yang berpihak pada pemberdayaan masyarakat. Program tersebut mencakup pengembangan pusat riset berbasis komunitas untuk memperkuat inovasi lokal, penyediaan infrastruktur yang inklusif agar mendukung produktivitas wilayah tambang, serta penyelenggaraan pendidikan vokasi yang relevan dengan kebutuhan industri strategis nasional. Selain itu, integrasi antara kebijakan sosial, ekonomi, dan teknologi melalui model *quadruple helix* dapat menciptakan ekosistem hilirisasi yang berkelanjutan. Dengan langkah ini, hilirisasi REE tidak hanya menjadi sarana untuk mencapai kemandirian industri, tetapi juga menjadi instrumen pembangunan nasional yang adil, berkeadilan sosial, dan berorientasi pada kesejahteraan masyarakat Indonesia secara menyeluruh.


## 7. DEKLARASI


### 7.1. Tentang Penulis

Felix Sutisna (FS)  <https://orcid.org/0009-0005-0503-6736>

Ester Ananda Natalia (EA)  <https://orcid.org/0009-0002-3425-1169>

Dwi Andayani (DA)  <https://orcid.org/0009-0007-1095-4093>

Umi Rusilowati (UR)  <https://orcid.org/0000-0001-7134-532X>

Kristina Vaher (KV)  <https://orcid.org/0009-0009-6790-0680>

### 7.2. Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: UR; Metodologi: EA; Perangkat Lunak: DA; Validasi: KV dan FS; Analisis Formal: KV dan EA; Investigasi: DA; Sumber Daya: UR; Kurasi Data: EA; Penulisan Draf Asli Persiapan: FS dan KV; Penulisan Tinjauan dan Penyuntingan: DA dan KV; Visualisasi: EA. Semua penulis, FS, EA, DA, UR dan KV yang telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

---

### 7.3. Pernyataan Ketersediaan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini dapat diperoleh dengan mengajukan permintaan kepada penulis yang bersangkutan.

### 7.4. Pendanaan

Penulis tidak memperoleh bantuan pendanaan apa pun untuk pelaksanaan pengabdian, penyusunan, maupun publikasi artikel ini.

### 7.5. Deklarasi Konflik Kepentingan

Penulis menegaskan bahwa tidak ada konflik kepentingan, baik yang bersifat finansial maupun personal, yang dapat memengaruhi hasil kerja yang dipaparkan dalam artikel ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Liu, S. Zhao, N. Xie, L. Yang, Q. Wang, Y. Wen, H. Chen, and Y. Tang, "Green approach for rare earth element (ree) recovery from coal fly ash," *Environmental Science & Technology*, vol. 57, no. 13, pp. 5414–5423, 2023.
- [2] Y. Tao, L. Shen, C. Feng, R. Yang, J. Qu, H. Ju, and Y. Zhang, "Distribution of rare earth elements (rees) and their roles in plant growth: A review," *Environmental Pollution*, vol. 298, p. 118540, 2022.
- [3] A. R. Illahi, "Hilirisasi pertambangan dan dampaknya terhadap aspek ekonomis lingkungan hidup di indonesia," *Jurnal Justitia: Jurnal Ilmu Hukum dan Humaniora*, vol. 9, no. 3, pp. 1436–1444, 2022.
- [4] R. F. Ciptaswara *et al.*, "Implementasi hilirisasi mineral dan batu bara dalam rangka mewujudkan kedaulatan energi dan daya saing industri nasional," *Mimbar Hukum*, vol. 34, no. 2, pp. 521–558, 2022.
- [5] M. H. R. Chakim, P. A. Sunarya, V. Agarwal, I. N. Hikam *et al.*, "Village tourism empowerment against innovation, economy creative, and social environmental," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 5, no. 2sp, pp. 162–174, 2023.
- [6] D. D. Putra, I. Supriyadi, and D. Yugianoro, "Peluang dan tantangan dalam pemanfaatan rare earth minerals di indonesia guna mendukung ketahanan energi," *NUSANTARA: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, vol. 11, no. 5, pp. 2091–2097, 2024.
- [7] F. Najamudin and A. H. Al Fajar, "Pemberdayaan masyarakat berbasis sumber daya lokal melalui pendekatan abcd untuk mencapai sdg 1: Tanpa kemiskinan," *Focus: Jurnal Pekerjaan Sosial*, vol. 7, no. 2, pp. 142–158, 2024.
- [8] M. R. Anwar and L. D. Sakti, "Integrating artificial intelligence and environmental science for sustainable urban planning," *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*, vol. 5, no. 2, pp. 179–191, 2024.
- [9] E. U. Khoiro, "Kebijakan hilirisasi sumber daya alam mineral di indonesia: Analisis bibliometrik," *Jurnal Edueco*, vol. 7, no. 2, pp. 131–137, 2024.
- [10] A. G. Tangkudung and J. Y. Kaseger, "Hilirisasi nikel sebagai nilai tambah dalam penguatan perekonomian indonesia," *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 5, no. 10, pp. 3946–3955, 2024.
- [11] D. Bennet, L. Maria, Y. P. A. Sanjaya, and A. R. A. Zahra, "Blockchain technology: Revolutionizing transactions in the digital age," *ADI Journal on Recent Innovation*, vol. 5, no. 2, pp. 192–199, 2024.
- [12] M. F. Fazri, T. Ramadhan, D. Apriliasari, D. Julianingsih, and A. Fitzroy, "Leveraging big data analytics for strategic marketing optimization: Insights and impacts," *Journal of Computer Science and Technology Application*, vol. 1, no. 2, pp. 144–153, 2024.
- [13] J. H. Fan, A. Omura, and E. Roca, "Geopolitics and rare earth metals," *European Journal of Political Economy*, vol. 78, p. 102356, 2023.
- [14] P. A. Sunarya, U. Rahardja, S. C. Chen, Y.-M. Lic, and M. Hardini, "Deciphering digital social dynamics: A comparative study of logistic regression and random forest in predicting e-commerce customer behavior," *Journal of Applied Data Sciences*, vol. 5, no. 1, pp. 100–113, 2024.
- [15] D. Gielen and M. Lyons, "Critical materials for the energy transition: Rare earth elements," *International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi*, pp. 1–48, 2022.
- [16] M. N. U. Zaman, "Implementasi economic analysis of law dalam pengaturan hilirisasi indonesia: Antara permanent sovereignty over natural resources dan perdagangan internasional," *Jurnal Rechts Vinding: Media Pembinaan Hukum Nasional*, vol. 14, no. 1, 2025.

- [17] Z. Wu, Y. Chen, Y. Wang, Y. Xu, Z. Lin, X. Liang, and H. Cheng, "Review of rare earth element (ree) adsorption on and desorption from clay minerals: Application to formation and mining of ion-adsorption ree deposits," *Ore Geology Reviews*, vol. 157, p. 105446, 2023.
- [18] S. R. Golroudbary, I. Makarava, A. Kraslawski, and E. Repo, "Global environmental cost of using rare earth elements in green energy technologies," *Science of the Total Environment*, vol. 832, p. 155022, 2022.
- [19] V. Agarwal, S. Verma, A. Bist, U. Rahardja, and P. K. Goel, "Natural language processing (nlp) for policy recommendations in carbon management," in *Advanced Systems for Monitoring Carbon Sequestration*. IGI Global Scientific Publishing, 2025, pp. 357–374.
- [20] R. Aprianto, R. Haris, A. Williams, H. Agustian, and N. Aptwell, "Social influence on ai-driven air quality monitoring adoption: Smartpls analysis," *Sundara Advanced Research on Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 1, pp. 28–36, 2025.
- [21] N. Rahayu, I. A. Supriyono, E. Mulyawan, F. Nurfadhillah, D. R. Yulianto, and A. Z. Ramadhan, "Pembangunan ekonomi indonesia dengan tantangan transformasi digital," *ADI Bisnis Digital Interdisiplin Jurnal*, vol. 4, no. 1, pp. 1–4, 2023.
- [22] I. R. Lukman, R. Unaida *et al.*, "Pelatihan dan pendampingan masyarakat melalui pemanfaatan limbah kayu di desa ulee reuleueng kecamatan dewantara," *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 2, no. 2, pp. 39–45, 2022.
- [23] M. Traore, A. Gong, Y. Wang, L. Qiu, Y. Bai, W. Zhao, Y. Liu, Y. Chen, Y. Liu, H. Wu *et al.*, "Research progress of rare earth separation methods and technologies," *Journal of Rare Earths*, vol. 41, no. 2, pp. 182–189, 2023.
- [24] M. W. Akira, H. Haritsah, A. Zulfia, and E. Prajateljista, "Mechanical and tribological properties of nano-sized al<sub>2</sub>o<sub>3</sub> particles on adc12 alloy composites with strontium modifier produced by stir casting method," *ADI Journal on Recent Innovation*, vol. 3, no. 1, pp. 9–20, 2021.
- [25] B. Mardisentosa, U. Rahardja, K. Zelina, F. P. Oganda, and M. Hardini, "Sustainable learning micro-credential using blockchain for student achievement records," in *2021 Sixth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*. IEEE, 2021, pp. 1–6.
- [26] M. Annas and S. N. Wahab, "Data mining methods: K-means clustering algorithms," *International Journal of Cyber and IT Service Management*, vol. 3, no. 1, pp. 40–47, 2023.
- [27] A. Williams and C. S. Bangun, "Artificial intelligence system framework in improving the competence of indonesian human resources," *International Journal of Cyber and IT Service Management*, vol. 2, no. 1, pp. 82–87, 2022.
- [28] H. A. Winata and F. Simon, "Influence of profitability, audit quality, and corporate governance on earnings management," *APTISI Transactions on Management*, vol. 8, no. 2, pp. 93–104, 2024.
- [29] K. Sulastriningsih, K. Ilyas, and E. D. Avery, "Pengelolaan sumber daya alam untuk masyarakat melalui seminar pemanfaatan sampah berbasis digital," *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 1, pp. 18–26, 2024.
- [30] S. Millah, A. Waskito, E. A. Natalia, S. H. Lase, and M. Rodriguez, "Decentralized solutions for intellectual property security using the interplanetary file system," *Blockchain Frontier Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 49–59, 2025.
- [31] M.-H. Lin, R. Sivaraman, Z. Nan, U. Rahardja, I. Muda, F. S. Fahim, B. S. Bashar, L. Li, and I. Husein, "Capacity optimization design of hybrid energy power generation system." *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, vol. 10, no. 4, 2023.
- [32] A. Mulyono, I. Setiawan, E. Hidayat, and R. Noviard, "Distribution and potential contamination assessment of rare earth elements (ree) in indonesian volcanic soil," *Ecological Frontiers*, vol. 44, no. 1, pp. 33–41, 2024.
- [33] A. Alwiyah, S. N. Husin, P. Padeli, M. Anggaraeni, and S. Sulistiawati, "Alignment of science and technology with islamic principles using quantum theory," *International Journal of Cyber and IT Service Management*, vol. 1, no. 1, pp. 115–120, 2021.
- [34] N. Lutfiani, N. Fauziyah, F. P. Oganda, R. Setyaningrum, E. A. Natalia *et al.*, "The role of globalization in indonesian evolution influence on media digital literacy language ai," *International Transactions on Artificial Intelligence*, vol. 3, no. 2, pp. 192–200, 2025.
- [35] V. Hatje, J. Schijf, K. Johannesson, R. Andrade, M. Caetano, P. Brito, B. Haley, M. Lagarde, and C. Jeandel, "The global biogeochemical cycle of the rare earth elements," *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 38, no. 6, p. e2024GB008125, 2024.
- [36] M. A. D. Yuda *et al.*, "Transformasi data solarman untuk pengungkapan informasi dan pola plts dengan

- metode semi-supervised learning,” *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan dan Teknologi Informasi*, vol. 1, no. 2, pp. 100–110, 2023.
- [37] R. Sivaraman, M.-H. Lin, M. I. C. Vargas, S. I. S. Al-Hawary, U. Rahardja, F. A. H. Al-Khafaji, E. V. Golubtsova, and L. Li, “Multi-objective hybrid system development: To increase the performance of diesel/photovoltaic/wind/battery system.” *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, vol. 11, no. 3, 2024.
- [38] H. Ramdhan and S. Aripin, “Strategi digital untuk bisnis: Pendekatan praktis dan implementasi di industri 4.0,” *ADI Bisnis Digital Interdisiplin Jurnal*, vol. 5, no. 1, pp. 34–40, 2024.
- [39] A. Zadokar, S. Negi, P. Kumar, B. Bhargava, R. Sharma, and M. Irfan, “Molecular insights into rare earth element (ree)-mediated phytotoxicity and its impact on human health,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, no. 36, pp. 84 829–84 849, 2023.
- [40] T. A. Surya, “Optimalisasi pengelolaan sumber daya logam tanah jarang di indonesia,” *Info Singkat: Analisis Strategis terhadap Isu Aktual*, vol. XVII, no. 17/I, pp. 1–8, September 2025, komisi XII: Energi dan Sumber Daya Mineral, Lingkungan Hidup, Investasi. [Online]. Available: [https://berkas.dpr.go.id/pusaka/files/info\\_singkat/Info%20Singkat-XVII-17-I-P3DI-September-2025-247.pdf](https://berkas.dpr.go.id/pusaka/files/info_singkat/Info%20Singkat-XVII-17-I-P3DI-September-2025-247.pdf)
- [41] K. I. M. Dewi, I. W. G. Narayana, and R. L. Rahardian, “Application of certification management information systems at lsp engineering hospitality indonesia,” *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 5, no. 3, pp. 227–239, 2023.
- [42] D. M. Kristari and A. Y. Teruna, “Impact of carbon emission disclosure and corporate social responsibility on indonesian manufacturing companies,” *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 5, no. 1Sp, pp. 38–48, 2023.
- [43] V. Melinda, T. Williams, J. Anderson, J. G. Davies, and C. Davis, “Enhancing waste-to-energy conversion efficiency and sustainability through advanced artificial intelligence integration,” *International Transactions on Education Technology (ITEE)*, vol. 2, no. 2, pp. 183–192, 2024.