

HILIRISASI MINERAL DAN DILEMA KEBERLANJUTAN

Artikel Akademik

Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD

www.rudycr.com/cv.pdf

IBM-ASMI (Institut Bisnis dan Multimedia)

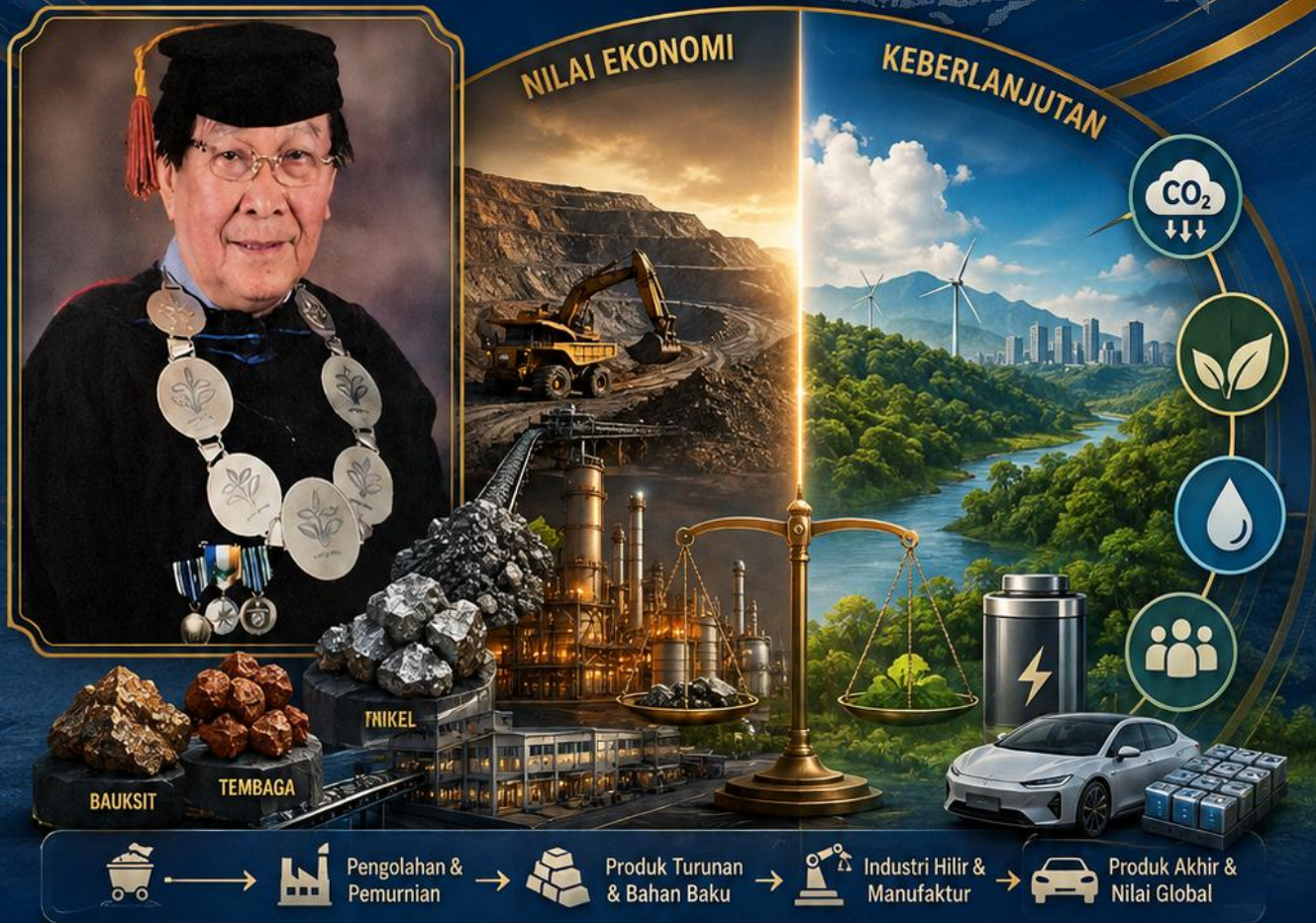
2026

Hilirisasi Mineral dan Dilema Keberlanjutan

Oleh: Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD

 www.rudycct.com/cv.pdf

 IBM-ASMI (Institut Bisnis dan Multimedia)



Nikel • Bauksit • Tembaga • ESG • Ekonomi Sirkular

RudyCT Academic Series 2026

Abstrak

Hilirisasi mineral telah menjadi salah satu strategi industrialisasi paling penting dalam transformasi ekonomi Indonesia. Kebijakan ini berangkat dari gagasan bahwa negara yang kaya sumber daya alam tidak seharusnya berhenti sebagai pemasok bahan mentah, tetapi perlu menguasai pengolahan, pemurnian, manufaktur antara, teknologi, jasa industri, dan—pada tingkat yang lebih tinggi—pengetahuan serta inovasi. Dalam praktiknya, hilirisasi nikel, bauksit, tembaga, timah, besi-baja, dan mineral lain telah menarik investasi besar, memperluas kapasitas smelter, mendorong ekspor produk olahan, menciptakan pusat-pusat industri baru di luar Jawa, dan memperkuat posisi Indonesia dalam rantai pasok mineral kritis global. Namun keberhasilan ekonomi tersebut sekaligus melahirkan dilema keberlanjutan. Ekspansi tambang dan kawasan pengolahan dapat meningkatkan tekanan terhadap hutan, daerah aliran sungai, pesisir, kualitas udara dan air, keanekaragaman hayati, serta ruang hidup masyarakat. Pengolahan mineral yang bergantung pada energi fosil juga dapat menghasilkan jejak karbon tinggi, sehingga muncul paradoks ketika mineral yang dibutuhkan untuk transisi energi diproduksi melalui sistem energi yang masih karbon-intensif. Artikel ini membahas hilirisasi sebagai persoalan strategi pembangunan, ekonomi politik, teknologi, tata kelola lingkungan, keadilan sosial, ketahanan industri, dan pembelajaran kelembagaan. Argumen utama artikel adalah bahwa hilirisasi baru dapat disebut berhasil secara penuh apabila nilai tambah ekonomi berjalan bersama peningkatan kompleksitas industri, transfer teknologi, kualitas pekerjaan, perlindungan ekologi, dekarbonisasi energi, transparansi tata kelola, dan distribusi manfaat yang adil. Dengan demikian, agenda berikutnya bukan sekadar “lebih banyak smelter”, melainkan “hilirisasi generasi kedua”: industrialisasi mineral yang rendah karbon, sirkular, berbasis pengetahuan, dan berorientasi pada kesejahteraan antargenerasi.

Kata Kunci

hilirisasi mineral; nikel; bauksit; tembaga; industrialisasi; mineral kritis; nilai tambah; keberlanjutan; ekonomi sirkular; dekarbonisasi; ESG; transisi energi; tata kelola sumber daya alam; Indonesia

Catatan Kontekstual 2026

Artikel ini disusun dengan mempertimbangkan perkembangan kebijakan dan investasi hingga 2026. Kementerian Investasi dan Hilirisasi/BKPM melaporkan bahwa realisasi investasi Indonesia pada Semester I 2026 mencapai Rp1.010,6 triliun, sementara investasi sektor hilirisasi mencapai Rp300,1 triliun atau 29,7% dari total investasi nasional. Komoditas mineral—termasuk bauksit, nikel, tembaga, besi-baja, dan pasir silika—tetap menjadi bagian utama agenda hilirisasi. Pada tingkat global, IEA mencatat permintaan nikel, kobalt, grafit, dan rare earths masih meningkat kuat seiring ekspansi kendaraan listrik, penyimpanan energi, energi terbarukan, dan jaringan listrik. Kombinasi kedua tren ini menjadikan pertanyaan keberlanjutan hilirisasi mineral Indonesia semakin strategis.

Daftar Isi

1. Pendahuluan: Dari Ekspor Bahan Mentah ke Negara Industri
 2. Makna Hilirisasi dalam Perspektif Ekonomi Pembangunan
 3. Mengapa Mineral Menjadi Strategis pada Era Transisi Energi
 4. Evolusi Kebijakan Hilirisasi Mineral Indonesia
 5. Nikel sebagai Laboratorium Besar Hilirisasi
 6. Bauksit, Alumina, dan Tantangan Integrasi Rantai Nilai
 7. Tembaga dan Peluang Pendalaman Industri
 8. Nilai Tambah: Antara Statistik Ekspor dan Transformasi Struktural
 9. Investasi, Modal Asing, dan Transfer Teknologi
 10. Ketenagakerjaan, Kompetensi, dan Kualitas Pekerjaan
 11. Energi untuk Smelter dan Paradoks Dekarbonisasi
 12. Hutan, Lahan, Air, dan Keanekaragaman Hayati
 13. Pesisir, Laut, Limbah, dan Risiko Ekologi
 14. Masyarakat Lokal, Keadilan Distribusi, dan Social License to Operate
 15. Tata Kelola, Transparansi, dan Kapasitas Negara
 16. ESG, Due Diligence, dan Tekanan Pasar Global
 17. Harga Komoditas, Overcapacity, dan Risiko Siklus
 18. Ekonomi Sirkular dan Daur Ulang Mineral
 19. Hilirisasi Generasi Kedua: Dari Smelter ke Inovasi
 20. Kerangka Strategis Hilirisasi Mineral Berkelanjutan
 21. Skenario Indonesia 2035–2045
 22. Agenda Kebijakan dan Rekomendasi
 23. Kesimpulan
- Glosarium
- Daftar Pustaka

1. Pendahuluan: Dari Ekspor Bahan Mentah ke Negara Industri

Indonesia memasuki fase baru dalam sejarah pengelolaan sumber daya alam ketika kebijakan mineral tidak lagi semata-mata ditujukan untuk meningkatkan produksi tambang dan penerimaan ekspor, tetapi untuk membentuk basis industrialisasi. Perubahan orientasi ini penting karena selama puluhan tahun banyak negara berkembang terjebak dalam pola ekonomi ekstraktif: bijih ditambang, diekspor dengan nilai tambah rendah, sementara proses pemurnian, rekayasa material, manufaktur komponen, pembentukan merek, dan penguasaan teknologi berlangsung di negara lain. Dalam pola tersebut, negara pemilik sumber daya menanggung sebagian besar dampak ekologis dari ekstraksi, tetapi hanya menerima bagian terbatas dari keseluruhan nilai ekonomi yang terbentuk di sepanjang rantai pasok.

Hilirisasi muncul sebagai upaya memutus pola itu. Secara sederhana, hilirisasi berarti memperpanjang rantai nilai di dalam negeri. Namun pengertian sederhana tersebut tidak cukup. Bila suatu negara hanya memindahkan satu tahap pemrosesan dari luar negeri ke dalam negeri tanpa membangun kemampuan teknologi, pemasok lokal, sumber daya manusia, inovasi, dan

tata kelola lingkungan, maka hilirisasi dapat berubah menjadi sekadar “ekstraksi plus pemrosesan”. Nilai ekspor mungkin meningkat, tetapi struktur ekonomi tetap bergantung pada komoditas, modal, teknologi, dan pasar eksternal. Karena itu, pertanyaan yang relevan bukan hanya berapa banyak smelter yang dibangun, melainkan seberapa jauh hilirisasi meningkatkan kompleksitas ekonomi nasional.

Dilema keberlanjutan muncul karena transformasi tersebut membawa dua kebenaran yang berjalan bersamaan. Pertama, Indonesia memiliki alasan ekonomi dan strategis yang kuat untuk memanfaatkan kekayaan mineral bagi industrialisasi. Kedua, sumber daya mineral bersifat tidak terbarukan, lokasi endapannya sering bertumpang tindih dengan ekosistem bernilai tinggi, dan proses pengolahannya membutuhkan energi, air, lahan, serta infrastruktur dalam jumlah besar. Dengan demikian, keberhasilan hilirisasi tidak dapat dinilai hanya dari investasi, ekspor, dan pertumbuhan produk domestik bruto. Ia juga harus dinilai dari kualitas pekerjaan, nilai tambah domestik bersih, emisi karbon, kehilangan keanekaragaman hayati, kualitas air, kesehatan masyarakat, ketahanan fiskal daerah, transfer teknologi, dan kesiapan ekonomi pascatambang.

Artikel ini menggunakan pendekatan multidimensional. Hilirisasi dibaca sebagai strategi manajemen pembangunan nasional: suatu proses yang memerlukan pilihan portofolio komoditas, prioritas investasi, orkestrasi lembaga, pengelolaan risiko, pengembangan kapabilitas, dan mekanisme evaluasi. Pendekatan ini menghindari dua ekstrem. Ekstrem pertama menganggap hilirisasi sebagai kebijakan yang secara otomatis menghasilkan kemakmuran. Ekstrem kedua melihat seluruh aktivitas mineral sebagai sesuatu yang harus dihentikan tanpa mempertimbangkan kebutuhan material bagi pembangunan dan transisi energi. Jalan yang lebih produktif adalah mengakui manfaat ekonomi sekaligus menghitung biaya sosial-ekologis secara terbuka, kemudian merancang tata kelola yang membuat manfaat melebihi biaya dalam perspektif jangka panjang.

2. Makna Hilirisasi dalam Perspektif Ekonomi Pembangunan

Dalam ekonomi pembangunan, hilirisasi berkaitan dengan transformasi struktural, yaitu perpindahan sumber daya dari aktivitas berproduktivitas rendah menuju aktivitas berproduktivitas lebih tinggi. Tambang dapat memiliki produktivitas tinggi dalam pengertian nilai output per pekerja, tetapi ekonomi tambang murni tidak selalu membentuk jaringan industri yang luas. Smelter, pabrik bahan kimia, manufaktur logam, produksi prekursor baterai, katoda, sel baterai, kabel, komponen elektronik, mesin, dan jasa rekayasa menciptakan keterkaitan ke depan dan ke belakang yang lebih besar. Keterkaitan inilah yang menjadi inti efek pengganda industrialisasi.

Albert Hirschman sejak lama menekankan pentingnya linkage dalam pembangunan. Sebuah sektor strategis menjadi lebih bermakna ketika mendorong industri pemasok, jasa, logistik, kompetensi, dan pasar baru. Dalam konteks mineral, backward linkage mencakup peralatan tambang, alat berat, suku cadang, bahan peledak, jasa geologi, rekayasa, konstruksi, energi, perangkat digital, dan pembiayaan. Forward linkage mencakup produk logam, material khusus, komponen manufaktur, kendaraan listrik, baterai, kabel, aluminium, baja nirkarat, dan produk kimia. Fiscal linkage muncul melalui pajak, royalti, dividen, penerimaan daerah, dan belanja publik yang dibiayai sumber daya.

Namun linkage tidak terjadi otomatis. Kawasan industri dapat menjadi enclave—kantong produksi modern yang memiliki hubungan terbatas dengan ekonomi lokal. Mesin diimpor,

teknologi dikendalikan perusahaan asing, pekerja terampil berasal dari luar daerah, bahan penolong didatangkan dari luar negeri, sementara daerah sekitar hanya memasok tenaga kerja berupah rendah dan menanggung eksternalitas. Kondisi seperti itu menghasilkan nilai tambah secara akuntansi, tetapi pembelajaran ekonomi domestik tetap dangkal. Oleh sebab itu, strategi hilirisasi perlu dinilai dari domestic value added dan domestic capability formation, bukan sekadar gross export value.

Hilirisasi juga harus dibedakan dari nasionalisme sumber daya yang semata-mata berfokus pada pelarangan ekspor. Larangan ekspor dapat menjadi instrumen untuk mendorong investasi pengolahan, tetapi ia bukan tujuan akhir. Instrumen tersebut harus dihubungkan dengan kebijakan industri, pendidikan vokasi, riset material, energi, pelabuhan, tata ruang, persaingan usaha, pembiayaan, dan diplomasi perdagangan. Tanpa orkestrasi, negara berisiko menciptakan kapasitas produksi besar pada satu mata rantai tetapi gagal bergerak ke produk bernilai lebih tinggi.

Dari perspektif manajemen strategis, keunggulan berbasis sumber daya alam hanya merupakan initial advantage. Keunggulan jangka panjang membutuhkan dynamic capabilities: kemampuan membaca perubahan teknologi, merekonfigurasi aset, mengembangkan kompetensi baru, membangun kemitraan, dan berpindah dari produk komoditas ke produk berbasis pengetahuan. Karena teknologi baterai dapat berubah, kimia material dapat bergeser, dan regulasi karbon global dapat semakin ketat, Indonesia tidak dapat mengandalkan asumsi bahwa keunggulan cadangan mineral akan selalu cukup. Hilirisasi harus dirancang sebagai tangga pembelajaran, bukan titik akhir.

3. Mengapa Mineral Menjadi Strategis pada Era Transisi Energi

Isu mineral kritis sebagai infrastruktur material bagi elektrifikasi memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Pertumbuhan kendaraan listrik, penyimpanan energi, jaringan listrik, pusat data, energi terbarukan, dan elektrifikasi industri meningkatkan kebutuhan tembaga, nikel, kobalt, grafit, aluminium, serta berbagai mineral lain. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

IEA mencatat permintaan nikel, kobalt, grafit, dan rare earths meningkat sekitar 6–8% pada 2024, terutama didorong aplikasi energi. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara

yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Indonesia harus memandang mineral bukan hanya sebagai komoditas ekspor, tetapi sebagai posisi tawar untuk memasuki industri teknologi rendah karbon. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu geopolitik rantai pasok dan konsentrasi pemrosesan memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Negara-negara industri berusaha mengurangi ketergantungan pada rantai pasok yang terlalu terkonsentrasi, sementara produsen mineral menggunakan kebijakan industri untuk mendapatkan bagian nilai tambah yang lebih besar. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Persaingan Amerika Serikat, Tiongkok, Uni Eropa, Jepang, Korea Selatan, dan negara lain membentuk standar baru mengenai asal bahan baku, subsidi, kandungan lokal, dan jejak karbon. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas

produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Indonesia perlu menjaga strategic autonomy: terbuka terhadap investasi, tetapi tidak menjadi terlalu tergantung pada satu sumber modal, teknologi, energi, atau pasar. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu mineral sebagai persoalan keamanan ekonomi memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Gangguan pasokan mineral dapat mempengaruhi industri kendaraan, elektronik, energi, pertahanan, dan infrastruktur digital. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Dominasi suatu negara pada produksi atau pemrosesan memberikan leverage, tetapi leverage dapat berkurang ketika teknologi substitusi berkembang atau negara lain membuka tambang baru. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas

produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Kebijakan mineral harus menggabungkan horizon jangka pendek, menengah, dan panjang serta menghindari overconfidence terhadap keunggulan geologis. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

4. Evolusi Kebijakan Hilirisasi Mineral Indonesia

Isu pergeseran dari ekspor bijih menuju kewajiban pemrosesan memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Kebijakan pertambangan pasca-2009 menempatkan pengolahan dan pemurnian dalam negeri sebagai instrumen peningkatan nilai tambah, kemudian diperkuat melalui pembatasan dan larangan ekspor mineral tertentu. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Larangan ekspor nikel mempercepat investasi smelter, sedangkan bauksit dan tembaga mengalami jalur kebijakan dan kesiapan industri yang berbeda. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan

industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Konsistensi arah penting, tetapi desain kebijakan harus adaptif terhadap kapasitas teknologi, infrastruktur, keekonomian proyek, dan dampak lingkungan. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu WTO dan konsekuensi tata perdagangan memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Kebijakan hilirisasi Indonesia berhadapan dengan aturan perdagangan internasional dan keberatan mitra dagang. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Perselisihan menunjukkan bahwa industrial policy domestik tidak dapat dipisahkan dari diplomasi perdagangan dan desain regulasi yang defensible. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai

risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Indonesia perlu memperkuat basis argumentasi, data, standar lingkungan, dan diversifikasi instrumen, tidak menggantungkan strategi hanya pada pelarangan ekspor. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

5. Nikel sebagai Laboratorium Besar Hilirisasi

Isu ekspansi smelter dan pembentukan klaster industri memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Sulawesi dan Maluku Utara berkembang menjadi pusat pengolahan nikel dengan kawasan industri terpadu, pelabuhan, pembangkit, serta fasilitas RKEF dan HPAL. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Nikel kini memasok dua jalur besar: stainless steel melalui nickel pig iron/ferronickel dan rantai baterai melalui mixed hydroxide precipitate serta material lanjutan. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi,

kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Klaster memberi economies of scale, tetapi konsentrasi aktivitas juga mengakumulasi risiko lingkungan, keselamatan, dan ketergantungan infrastruktur. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu keberhasilan ekspor versus kualitas pendalaman industri memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Nilai ekspor produk nikel meningkat tajam dibanding era dominasi ekspor bijih, dan Indonesia memperoleh posisi kuat dalam pasokan global. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Namun indikator keberhasilan perlu memisahkan kenaikan harga, peningkatan volume, kandungan impor, biaya energi, depresiasi aset, insentif fiskal, dan kerusakan lingkungan. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta

persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Keberhasilan sejati terlihat ketika bagian yang lebih besar dari teknologi, desain, material, mesin, jasa, dan keuntungan tetap berputar dalam ekonomi domestik. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu HPAL dan teknologi baterai memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Pengolahan laterit kadar rendah melalui high-pressure acid leaching membuka akses ke bahan baku baterai, tetapi memiliki tuntutan teknis tinggi, penggunaan asam, residu, air, dan kebutuhan pengelolaan limbah yang ketat. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Kinerja lingkungan HPAL bergantung pada desain fasilitas, kualitas operasi, sumber energi, penanganan tailings, dan sistem pemantauan. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri

negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Indonesia harus membangun kompetensi metalurgi dan environmental engineering agar tidak hanya menjadi lokasi fasilitas yang dioperasikan dengan pengetahuan eksternal. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

6. Bauksit, Alumina, dan Tantangan Integrasi Rantai Nilai

Isu dari biji bauksit ke alumina dan aluminium memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Bauksit memiliki logika rantai nilai berbeda dari nikel: pengolahan menuju smelter grade alumina memerlukan kilang, sedangkan produksi aluminium primer membutuhkan listrik dalam jumlah sangat besar. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Tanpa energi kompetitif dan rendah karbon, pendalaman ke aluminium dapat menghadapi dilema biaya serta emisi. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus

dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Strategi bauksit perlu mengaitkan tambang, refinery, pembangkit, logistik, pelabuhan, dan industri pengguna aluminium. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu red mud dan pengelolaan residu memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Proses Bayer menghasilkan residu bauksit atau red mud dalam volume besar dan bersifat alkalin. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Risiko lingkungan bukan hanya selama operasi, tetapi juga stabilitas fasilitas residu dalam puluhan tahun setelah produksi. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar

karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Prinsip circularity mendorong riset pemanfaatan residu untuk bahan bangunan, pemulihan logam, atau aplikasi lain dengan syarat keamanan ilmiah. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

7. Tembaga dan Peluang Pendalaman Industri

Isu smelter sebagai awal, bukan akhir memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Tembaga penting bagi kabel, motor listrik, transformator, jaringan energi, elektronik, kendaraan listrik, dan infrastruktur digital. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Pemurnian konsentrat menjadi katoda meningkatkan nilai domestik, tetapi peluang lebih besar berada pada rod, wire, foil, komponen listrik, dan produk teknik. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global.

Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Kebijakan tembaga harus mendorong koneksi smelter dengan manufaktur nasional agar produk tidak berhenti pada katoda sebagai komoditas antara. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu sulfuric acid, slag, dan produk samping memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Smelter tembaga juga menghasilkan asam sulfat, slag, precious metals, dan produk samping yang dapat membentuk industrial symbiosis. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Nilai ekonomi meningkat ketika aliran material samping dapat digunakan secara aman oleh industri pupuk, konstruksi, kimia, atau pemurnian logam mulia. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi,

kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Perencanaan kawasan harus berbasis neraca material sehingga limbah satu fasilitas dapat menjadi input fasilitas lain tanpa mengorbankan standar lingkungan. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

8. Nilai Tambah: Antara Statistik Ekspor dan Transformasi Struktural

Isu mengukur nilai tambah bersih memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Gross export value mudah digunakan sebagai narasi keberhasilan, tetapi tidak menunjukkan berapa besar nilai yang benar-benar tinggal di dalam negeri. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Pengukuran perlu memasukkan impor mesin dan bahan, pembayaran jasa dan bunga, repatriasi laba, subsidi energi, tax expenditure, serta environmental liabilities. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global.

Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Pemerintah perlu mengembangkan dashboard net domestic value added untuk setiap rantai komoditas. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu produktivitas dan kompleksitas ekonomi memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Transformasi mineral seharusnya meningkatkan produktivitas melalui pembelajaran, standardisasi, digitalisasi, dan kemampuan rekayasa. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Jika sektor hanya berkembang karena volume ekstraksi lebih besar, ekonomi tetap rentan terhadap harga komoditas dan penipisan cadangan. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri

negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Target hilirisasi perlu mencakup paten, belanja R&D, jumlah pemasok lokal tersertifikasi, kandungan rekayasa domestik, dan ekspor produk kompleks. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

9. Investasi, Modal Asing, dan Transfer Teknologi

Isu modal asing sebagai akselerator memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Skala investasi smelter dan kawasan industri membuat modal asing berperan besar dalam percepatan hilirisasi. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Modal tersebut dapat membawa teknologi, jaringan pasar, manajemen proyek, dan pembiayaan, tetapi manfaat jangka panjang tergantung kemampuan domestik menyerap pengetahuan. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan,

tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Kebijakan investasi sebaiknya menggunakan performance requirements yang realistis: pelatihan, pusat R&D, pengembangan vendor lokal, dan rencana suksesi kompetensi. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu ketergantungan teknologi dan vendor lock-in memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Ketika teknologi proses, perangkat lunak, suku cadang, dan keahlian kritis berasal dari satu ekosistem luar negeri, kapasitas produksi tinggi dapat berjalan bersama kerapuhan strategis. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Vendor lock-in meningkatkan biaya peralihan dan membatasi bargaining power. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor

mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Indonesia perlu standardisasi terbuka, diversifikasi pemasok, joint engineering, dan pengembangan kemampuan maintenance serta design authority domestik. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

10. Ketenagakerjaan, Kompetensi, dan Kualitas Pekerjaan

Isu jumlah pekerjaan versus kualitas pekerjaan memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Hilirisasi menciptakan pekerjaan konstruksi, operasi, logistik, keamanan, jasa, dan manufaktur, tetapi kualitasnya sangat beragam. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Indikator keberhasilan harus mencakup upah layak, keselamatan, jam kerja, kepastian karier, kesempatan pelatihan, mobilitas vertikal, dan proporsi tenaga teknis lokal. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi,

kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Pekerjaan yang aman dan produktif adalah bagian dari nilai tambah, bukan biaya yang boleh dikompromikan. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu ekosistem pendidikan vokasi dan universitas memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Kawasan mineral memerlukan metalurgi, geologi, kimia, otomasi, instrumentasi, keselamatan proses, lingkungan, data science, dan manajemen operasi. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Kurikulum harus dibangun bersama industri tetapi tetap menjaga independensi akademik dan orientasi jangka panjang. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan

kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Politeknik dan universitas di Sulawesi, Maluku, Kalimantan, dan Papua dapat menjadi simpul knowledge spillover sehingga wilayah tambang tidak sekadar menjadi lokasi ekstraksi. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

11. Energi untuk Smelter dan Paradoks Dekarbonisasi

Isu captive coal dan jejak karbon memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Smelter membutuhkan listrik dan panas proses dalam jumlah besar; pada sejumlah kawasan, kebutuhan tersebut dipenuhi pembangkit batu bara captive. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Konsekuensinya muncul paradoks: mineral yang dipakai dalam kendaraan listrik atau teknologi rendah karbon dapat diproduksi dengan emisi tinggi. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri

negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Jejak karbon produk akan semakin penting ketika pasar menerapkan carbon accounting, battery passport, due diligence, dan procurement berbasis emisi. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu strategi transisi energi kawasan industri memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Dekarbonisasi smelter tidak harus menunggu teknologi sempurna. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Langkah bertahap mencakup efisiensi energi, integrasi panas, elektrifikasi proses, renewable PPAs, pembangkit surya dan angin, hidro bila layak, penyimpanan energi, serta penghentian bertahap captive coal. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan

kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Roadmap harus memiliki baseline, target intensitas emisi per ton produk, jadwal investasi, dan mekanisme verifikasi independen. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

12. Hutan, Lahan, Air, dan Keanekaragaman Hayati

Isu deforestasi langsung dan tidak langsung memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Tambang laterit sering membutuhkan pembukaan vegetasi, jalan angkut, stockpile, pelabuhan, perumahan, dan fasilitas industri. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Penelitian terbaru menemukan keterkaitan ekspansi pertambangan nikel dengan pengurangan tutupan hutan di Indonesia; dampak tidak berhenti pada pit tambang tetapi meluas melalui fragmentasi lanskap. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume

cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Perencanaan harus menggunakan mitigation hierarchy: avoid, minimize, restore, dan hanya kemudian offset untuk dampak residual yang benar-benar tidak dapat dihindari. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu neraca air dan kualitas daerah aliran sungai memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Pertambangan dan pemrosesan mengubah pola limpasan, sedimentasi, kebutuhan air industri, dan potensi kontaminasi. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Daerah dengan curah hujan tinggi menghadapi risiko erosi dan sedimentasi besar ketika tanah lateritik terbuka. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi

rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Izin air harus berbasis cumulative impact assessment pada skala DAS, bukan hanya penilaian proyek per proyek. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

13. Pesisir, Laut, Limbah, dan Risiko Ekologi

Isu sedimentasi dan ekosistem pesisir memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Banyak pusat nikel Indonesia berada dekat pantai sehingga interaksi darat-laut sangat kuat. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Sedimen, limpasan, aktivitas pelabuhan, reklamasi, dan pembuangan limbah dapat mempengaruhi kejernihan air, terumbu karang, lamun, mangrove, dan perikanan. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh

inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Studi berbasis penginderaan jauh 2026 di sekitar IMIP melaporkan penurunan kejernihan air pesisir setelah ekspansi pengolahan, memperkuat pentingnya monitoring spasial independen. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu tailings dan prinsip kehati-hatian memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Pengelolaan tailings merupakan risiko jangka panjang karena kegagalan fasilitas dapat menimbulkan kerusakan besar dan mahal dipulihkan. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Pilihan teknologi pembuangan harus mempertimbangkan geologi, seismisitas, curah hujan, ekologi laut, dan skenario ekstrem. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan

oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Kebijakan harus menempatkan keselamatan dan integritas ekosistem di atas penghematan biaya jangka pendek. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

14. Masyarakat Lokal, Keadilan Distribusi, dan Social License to Operate

Isu pembagian manfaat daerah memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Kawasan industri dapat menaikkan pendapatan, harga tanah, kesempatan usaha, dan infrastruktur, tetapi juga meningkatkan biaya hidup, kepadatan, konflik lahan, dan tekanan layanan publik. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Pertumbuhan PDRB daerah tidak otomatis identik dengan peningkatan kesejahteraan semua kelompok. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Benefit-sharing perlu dirancang transparan melalui penerimaan daerah, pengadaan lokal, pendidikan, kesehatan, infrastruktur dasar, dan dana transisi pascatambang. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu hak masyarakat dan partisipasi bermakna memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Konsultasi yang dilakukan setelah keputusan utama dibuat hanya menghasilkan legitimasi administratif, bukan partisipasi substantif. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Masyarakat perlu memperoleh informasi risiko, alternatif proyek, mekanisme keluhan, dan akses pada data pemantauan. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Social license to operate tidak dapat dibeli dengan CSR; ia terbentuk dari kepercayaan, keadilan prosedural, konsistensi perilaku, dan kemampuan perusahaan memperbaiki dampak. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

15. Tata Kelola, Transparansi, dan Kapasitas Negara

Isu fragmentasi perizinan dan koordinasi memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Rantai mineral melibatkan kementerian teknis, investasi, lingkungan, perdagangan, perindustrian, pemerintah daerah, BUMN, dan otoritas lain. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Jika indikator dan basis data tidak terhubung, satu lembaga dapat mengejar investasi sementara lembaga lain menanggung beban pengawasan. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Diperlukan integrated mineral governance dashboard yang menghubungkan produksi, cadangan, energi, air, emisi, tenaga kerja, penerimaan negara, dan kepatuhan lingkungan. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu penegakan hukum dan kredibilitas kebijakan memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Standar lingkungan yang baik tidak cukup tanpa inspeksi, laboratorium, data terbuka, sanksi, dan pemulihan. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Ketimpangan informasi antara regulator dan korporasi dapat besar karena kompleksitas teknis smelter dan operasi tambang. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Negara perlu memperkuat kapasitas regulator, termasuk remote sensing, continuous emissions monitoring, audit material balance, dan forensic environmental accounting. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

16. ESG, Due Diligence, dan Tekanan Pasar Global

Isu ESG sebagai akses pasar memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Pembeli global semakin memperhatikan emisi, deforestasi, hak pekerja, hak masyarakat adat, transparansi rantai pasok, dan keselamatan. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

ESG bukan sekadar laporan tahunan; pada rantai mineral ia dapat menentukan akses pembiayaan, kontrak pembelian, premi atau diskon harga, serta reputasi. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Produsen Indonesia perlu bergerak dari compliance minimum menuju traceability dan verified performance. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu traceability digital dan battery passport memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Rantai pasok masa depan membutuhkan kemampuan menelusuri asal mineral, proses, emisi, dan kepatuhan. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Teknologi digital dapat mengintegrasikan data tambang, pengangkutan, smelter, laboratorium, dan manufaktur. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Namun traceability hanya kredibel bila data diverifikasi, governance jelas, dan konflik kepentingan dikelola; blockchain sendiri tidak memperbaiki data yang sejak awal tidak benar. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

17. Harga Komoditas, Overcapacity, dan Risiko Siklus

Isu harga nikel dan tekanan margin memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Ekspansi kapasitas Indonesia mempengaruhi keseimbangan pasokan global dan dapat menekan harga ketika pertumbuhan produksi lebih cepat daripada permintaan. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip

keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Harga rendah menguntungkan pengguna hilir tetapi dapat mempersempit margin tambang dan smelter, terutama fasilitas berbiaya tinggi atau berutang besar. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Kebijakan industri harus menghindari insentif yang membuat negara mensubsidi overcapacity permanen. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu stranded assets dan perubahan teknologi memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Perubahan kimia baterai, peningkatan penggunaan LFP, inovasi sodium-ion, efisiensi material, atau peningkatan daur ulang dapat mengubah prospek permintaan nikel kelas baterai. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat

dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Aset berumur panjang harus diuji terhadap skenario teknologi dan harga, bukan hanya proyeksi bullish. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Strategi terbaik adalah fleksibilitas: fasilitas multi-product, kemampuan upgrading, kontrak energi adaptif, dan disiplin investasi. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

18. Ekonomi Sirkular dan Daur Ulang Mineral

Isu urban mining sebagai sumber mineral sekunder memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Ketika stok kendaraan listrik, elektronik, panel surya, dan infrastruktur bertambah, limbah akhir umur menjadi sumber logam bernilai. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat

muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Daur ulang mengurangi tekanan terhadap tambang primer, meskipun dalam dekade dekat tidak dapat sepenuhnya menggantikan kebutuhan tambang karena stok material masih tumbuh. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Indonesia perlu membangun regulasi extended producer responsibility, reverse logistics, standar keselamatan, dan industri recycling battery yang terintegrasi. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu industrial symbiosis dan zero-waste aspiration memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Slag, fly ash, gypsum, sulfuric acid, panas buang, air proses, dan residu lain dapat dikelola sebagai aliran material yang berpotensi dimanfaatkan. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan

kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Pemanfaatan harus berbasis karakterisasi kimia, life-cycle assessment, standar produk, dan batas kontaminan. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Circularity tidak boleh menjadi alasan untuk memindahkan limbah berbahaya ke produk konstruksi tanpa bukti keselamatan jangka panjang. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

19. Hilirisasi Generasi Kedua: Dari Smelter ke Inovasi

Isu naik kelas ke material maju memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Tahap pertama hilirisasi berfokus pada pemurnian dan produk antara; tahap berikutnya harus mengejar precursor, cathode material, foil, alloy khusus, komponen, peralatan proses, dan jasa rekayasa. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-

rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Margin dan pengetahuan cenderung meningkat pada produk yang memiliki spesifikasi, intellectual property, dan hubungan erat dengan pelanggan. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Strategi industri harus memilih niche di mana Indonesia dapat menggabungkan feedstock advantage dengan engineering capability. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu R&D dan konsorsium nasional memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Riset mineral membutuhkan fasilitas mahal, pengujian pilot, laboratorium karakterisasi, data proses, dan kolaborasi lintas disiplin. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban

masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Konsorsium antara universitas, BRIN, industri, BUMN, pemerintah daerah, dan mitra global dapat mempercepat pembelajaran. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Skema insentif harus menghargai prototipe, paten yang digunakan, peningkatan recovery, penurunan emisi, dan solusi limbah—bukan hanya jumlah publikasi. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

20. Kerangka Strategis Hilirisasi Mineral Berkelanjutan

Isu enam dimensi kinerja memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Kinerja hilirisasi dapat dibaca melalui enam dimensi: ekonomi, teknologi, sosial, lingkungan, energi-karbon, dan tata kelola. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan

kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Masing-masing membutuhkan indikator kuantitatif dan target lintas waktu. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Dengan kerangka ini, proyek yang menguntungkan tetapi merusak ekologi berat tidak dapat otomatis dikategorikan sukses; demikian pula proyek hijau yang terus merugi tanpa prospek teknologi perlu dievaluasi. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu portfolio governance memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Tidak semua mineral harus dihilirisasi sampai tahap yang sama. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut

diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Keputusan perlu mempertimbangkan cadangan, skala pasar, posisi biaya, kebutuhan energi, kesiapan teknologi, water footprint, biodiversity sensitivity, dan peluang keterkaitan industri. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Pendekatan portofolio mencegah kebijakan satu resep untuk semua komoditas. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

21. Skenario Indonesia 2035–2045

Isu skenario volume tanpa transformasi memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Dalam skenario pertama, Indonesia mempertahankan pertumbuhan volume tambang dan smelter tetapi lambat mendekarbonisasi serta membangun teknologi. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan

kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Ekspor tetap besar, namun margin tertekan, konflik lingkungan meningkat, dan ketika cadangan menurun atau teknologi bergeser, daerah industri menghadapi risiko stranded assets. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Ini merupakan skenario keberhasilan jangka pendek tetapi kerapuhan jangka panjang. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu skenario industrialisasi hijau berbasis pengetahuan memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Dalam skenario kedua, kapasitas mineral dihubungkan dengan energi rendah karbon, recycling, manufaktur canggih, R&D, pendidikan, dan governance. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan

menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Produktivitas serta nilai per ton meningkat sehingga pertumbuhan tidak harus identik dengan ekstraksi semakin besar. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Indonesia dapat menjadi pusat materials engineering dan green manufacturing di Asia, bukan hanya pusat smelting. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

22. Agenda Kebijakan dan Rekomendasi

Isu reformulasi KPI nasional memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. KPI hilirisasi perlu bergerak dari nilai investasi dan ekspor menuju nilai tambah bersih, emisi per ton, intensitas air, keselamatan, local supplier development, R&D, dan kualitas pekerjaan. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan

layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Apa yang diukur akan memengaruhi perilaku birokrasi dan korporasi. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Dashboard publik dapat menciptakan disiplin kebijakan sekaligus meningkatkan kepercayaan masyarakat. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu moratorium selektif dan carrying capacity memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Di wilayah yang telah mengalami tekanan kumulatif tinggi, keputusan investasi baru perlu mempertimbangkan daya dukung energi, air, pelabuhan, permukiman, kesehatan, dan ekologi. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat

dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Moratorium selektif atau sequencing proyek dapat lebih rasional daripada terus menambah kapasitas sampai sistem lokal mengalami overload. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Kecepatan pembangunan harus disesuaikan dengan kapasitas pengawasan dan pemulihan. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Biji yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

Isu dana generasi mendatang dan ekonomi pascatambang memperlihatkan bahwa hilirisasi mineral tidak dapat dipahami sebagai kebijakan sektoral yang berdiri sendiri. Mineral tidak terbarukan harus dikonversi menjadi aset yang manfaatnya bertahan setelah tambang berhenti. Dalam kerangka pembangunan, perubahan pada satu mata rantai memengaruhi mata rantai lain: kebutuhan energi memengaruhi struktur emisi; kebutuhan pelabuhan memengaruhi pesisir; pilihan teknologi memengaruhi tenaga kerja; dan pilihan sumber modal memengaruhi kemampuan negosiasi negara. Karena keterhubungan tersebut, kebijakan yang terlihat efisien pada tingkat perusahaan belum tentu optimal pada tingkat nasional. Biaya yang tidak masuk ke laporan laba-rugi perusahaan—misalnya sedimentasi, degradasi habitat, tekanan jalan publik, penurunan kualitas udara, atau kebutuhan layanan kesehatan—dapat muncul sebagai beban masyarakat dan pemerintah. Prinsip keberlanjutan menuntut agar biaya eksternal tersebut

diidentifikasi, diukur, dicegah sejauh mungkin, dan diinternalisasikan ke dalam keputusan investasi.

Sebagian rente dapat diarahkan pada human capital, infrastruktur produktif, riset, restorasi, dan sovereign or regional future funds dengan governance ketat. Fakta semacam ini menunjukkan bahwa keberhasilan hilirisasi harus dibaca melalui konteks perubahan global. Pasar mineral tidak hanya ditentukan oleh volume cadangan, tetapi juga oleh inovasi teknologi, kebijakan industri negara pembeli, standar karbon, regulasi rantai pasok, serta persepsi investor mengenai risiko lingkungan dan sosial. Dengan kata lain, Indonesia berhadapan dengan perlombaan ganda: perlombaan meningkatkan kapasitas produksi dan perlombaan meningkatkan kualitas produksi. Negara yang hanya unggul dalam tonase dapat kalah ketika pembeli beralih ke material dengan jejak karbon lebih rendah, ketika teknologi mengurangi intensitas mineral, atau ketika aturan perdagangan mensyaratkan traceability yang lebih ketat.

Dari sudut pandang manajemen, persoalan ini membutuhkan kombinasi antara efficiency dan resilience. Efficiency mengejar biaya produksi kompetitif, utilisasi fasilitas tinggi, logistik lancar, dan skala ekonomi. Resilience menuntut diversifikasi pemasok, fleksibilitas teknologi, kapasitas menghadapi perubahan harga, kesiapan bencana, cadangan infrastruktur kritis, serta hubungan sosial yang stabil. Terlalu menekankan efisiensi jangka pendek dapat mengurangi redundansi yang diperlukan untuk bertahan menghadapi guncangan. Sebaliknya, membangun ketahanan tanpa disiplin biaya dapat menggerus daya saing. Oleh karena itu, kebijakan publik perlu membangun titik keseimbangan yang berbeda untuk tiap komoditas, lokasi, dan tahap rantai nilai.

Tujuannya agar kekayaan bawah tanah berubah menjadi kekayaan manusia, institusi, dan ekologi yang dapat diwariskan. Implikasi ini penting karena hilirisasi merupakan proyek antargenerasi. Bijih yang diekstraksi hari ini tidak dapat ditambang kembali pada masa depan. Setiap ton mineral pada dasarnya merupakan konversi natural capital menjadi financial, physical, human, technological, dan institutional capital. Bila konversi tersebut gagal—misalnya rente habis untuk konsumsi, teknologi tidak dikuasai, kerusakan alam tidak dipulihkan, dan masyarakat lokal tidak memperoleh kapabilitas baru—maka negara hanya mengganti cadangan mineral dengan aset yang cepat menyusut. Sebaliknya, bila pendapatan dan pembelajaran digunakan untuk membangun manusia, teknologi, institusi, energi bersih, serta ekosistem yang dipulihkan, hilirisasi dapat menjadi jembatan dari ekonomi berbasis sumber daya menuju ekonomi berbasis pengetahuan.

23. Kesimpulan

Hilirisasi mineral Indonesia merupakan salah satu eksperimen industrialisasi berbasis sumber daya alam terbesar pada awal abad ke-21. Dalam waktu relatif singkat, terutama melalui nikel, Indonesia berhasil mengubah posisi dari pemasok bijih menjadi pusat pemrosesan yang memengaruhi struktur pasar dunia. Investasi, kawasan industri, smelter, infrastruktur, dan jaringan manufaktur baru terbentuk di wilayah yang sebelumnya tidak menjadi pusat industri nasional. Dari sudut pandang strategi pembangunan, pencapaian tersebut menunjukkan bahwa kebijakan negara dapat mengubah lokasi penciptaan nilai dan memaksa rantai pasok global menyesuaikan diri dengan kepentingan negara produsen.

Namun babak pertama hilirisasi juga memperlihatkan batas pendekatan yang terlalu menekankan investasi dan volume. Pengolahan mineral membutuhkan energi dan air yang

besar; ekspansi tambang menekan hutan dan lanskap; kawasan industri pesisir berinteraksi dengan ekosistem laut; limbah dan tailings membawa tanggung jawab jangka panjang; serta perubahan sosial yang sangat cepat dapat mengganggu struktur komunitas lokal. Ketika listrik smelter masih banyak bertumpu pada batu bara, muncul kontradiksi antara tujuan memasok material transisi energi dan cara produksi yang karbon-intensif. Kontradiksi ini bukan alasan untuk menghentikan hilirisasi, tetapi alasan untuk memperbaiki desainnya.

Agenda ke depan adalah hilirisasi generasi kedua. Fokusnya bukan lagi sekadar apakah bijih diproses di Indonesia, tetapi bagaimana proses tersebut dilakukan, siapa yang menguasai teknologi, seberapa besar nilai tambah bersih tinggal di dalam negeri, apa kualitas pekerjaan yang diciptakan, berapa emisi per ton produk, bagaimana air dan keanekaragaman hayati dilindungi, serta apakah daerah penghasil memiliki ekonomi yang tetap hidup setelah tambang berakhir. Ukuran keberhasilan harus berpindah dari kuantitas menuju kualitas, dari output menuju capability, dan dari pertumbuhan hari ini menuju resilience antargenerasi.

Dalam kerangka itu, pemerintah berperan sebagai strategic orchestrator. Negara perlu menjaga konsistensi arah industrialisasi sekaligus mampu mengoreksi instrumen yang menimbulkan distorsi. Regulasi harus cukup tegas untuk mencegah race to the bottom, namun cukup adaptif untuk mengakomodasi perubahan teknologi. Insentif investasi harus bersyarat pada transfer kompetensi, kinerja lingkungan, dekarbonisasi, dan pengembangan pemasok lokal. Data produksi, cadangan, emisi, air, keselamatan, dan reklamasi perlu dibuat lebih terintegrasi dan transparan sehingga keputusan tidak bergantung pada klaim parsial.

Bagi perusahaan, keberlanjutan harus diperlakukan sebagai bagian dari operational excellence dan strategic risk management, bukan fungsi komunikasi. Perusahaan yang mampu menurunkan konsumsi energi, meningkatkan recovery, mengurangi limbah, menjaga keselamatan, membangun hubungan sosial yang adil, dan menyediakan traceability akan memiliki posisi yang lebih kuat ketika standar global semakin ketat. Dalam pasar mineral kritis, reputasi lingkungan dan sosial berpotensi menjadi bagian dari kualitas produk sebagaimana kadar logam, kemurnian, dan konsistensi spesifikasi.

Bagi masyarakat akademik, hilirisasi menyediakan agenda riset luas: ekonomi politik sumber daya, teknologi metalurgi, life-cycle assessment, rekayasa limbah, ekologi lanskap, kesehatan lingkungan, dinamika migrasi, ketenagakerjaan, tata kelola daerah, pembiayaan hijau, kecerdasan buatan untuk monitoring, dan desain kebijakan industri. Perguruan tinggi tidak hanya dibutuhkan untuk menghasilkan tenaga kerja, tetapi juga sebagai institusi independen yang menguji asumsi, mengukur dampak, menawarkan alternatif, dan menjaga kualitas diskursus publik.

Pada akhirnya, dilema keberlanjutan tidak dapat diselesaikan dengan memilih antara “ekonomi” atau “lingkungan”, seolah keduanya selalu berlawanan. Pertanyaan yang lebih matang adalah bagaimana membangun sistem industri yang menghasilkan nilai ekonomi tinggi dengan jejak material dan ekologis yang semakin rendah. Prinsip ini mengarah pada produktivitas sumber daya, circular economy, energi rendah karbon, teknologi bersih, pemulihan lanskap, dan pembagian manfaat yang adil. Dengan pendekatan demikian, mineral dapat menjadi batu loncatan menuju ekonomi maju—bukan jebakan ekstraktif dalam bentuk baru.

Indonesia memiliki kesempatan historis untuk menunjukkan bahwa negara berkembang yang kaya mineral dapat melakukan industrialisasi tanpa mengulangi seluruh jejak ekologis negara-negara industri generasi sebelumnya. Kesempatan tersebut tidak otomatis menjadi kenyataan.

Ia membutuhkan disiplin institusi, transparansi, kemampuan teknologi, keberanian mengoreksi proyek yang tidak layak, dan komitmen bahwa natural capital yang berkurang harus diganti dengan human, technological, institutional, dan ecological capital yang lebih kuat. Itulah ukuran paling substantif dari hilirisasi mineral yang berkelanjutan.

Lampiran Analitis: Matriks Isu Strategis Hilirisasi Mineral

Ekonomi: Nilai tambah domestik bersih

Mengukur bagian nilai yang tinggal di Indonesia setelah impor input, repatriasi laba, insentif, dan biaya eksternal. Dalam kerangka manajemen, isu ini perlu dikelola melalui siklus plan–do–check–act. Pada tahap perencanaan, baseline dan risiko harus didefinisikan sebelum keputusan investasi final. Pada tahap implementasi, tanggung jawab harus dialokasikan secara jelas antara perusahaan, pemerintah pusat, pemerintah daerah, kontraktor, dan lembaga pengawas. Pada tahap evaluasi, hasil harus dibandingkan terhadap target absolut dan intensitas, bukan sekadar kepatuhan administratif. Pada tahap koreksi, insentif dan sanksi harus cukup kuat untuk mengubah perilaku. Contoh metrik yang relevan meliputi: Net domestic value added; local procurement; tax contribution; export complexity. Pemilihan indikator perlu menghindari metric gaming, yaitu situasi ketika organisasi terlihat berhasil karena mengejar angka yang mudah dicapai namun tidak mewakili tujuan substantif.

Dimensi ekonomi juga perlu dibaca secara lintas waktu. Suatu proyek dapat tampak berhasil pada lima tahun pertama tetapi meninggalkan kewajiban besar pada tahun ke-20, misalnya reklamasi, fasilitas tailings, penurunan kualitas air, atau aset energi yang tidak lagi kompetitif. Karena itu, evaluasi sebaiknya menggunakan life-cycle perspective dan shadow pricing untuk karbon, air, biodiversitas, serta risiko sosial. Pendekatan ini tidak dimaksudkan untuk membuat semua proyek menjadi tidak ekonomis, melainkan untuk membandingkan alternatif secara lebih jujur dan mencegah keputusan yang menguntungkan satu aktor dengan memindahkan biaya kepada masyarakat atau generasi berikutnya.

Teknologi: Transfer dan absorpsi teknologi

Membedakan penggunaan teknologi asing dari penguasaan kompetensi untuk merancang, mengoperasikan, memelihara, dan mengembangkan teknologi. Dalam kerangka manajemen, isu ini perlu dikelola melalui siklus plan–do–check–act. Pada tahap perencanaan, baseline dan risiko harus didefinisikan sebelum keputusan investasi final. Pada tahap implementasi, tanggung jawab harus dialokasikan secara jelas antara perusahaan, pemerintah pusat, pemerintah daerah, kontraktor, dan lembaga pengawas. Pada tahap evaluasi, hasil harus dibandingkan terhadap target absolut dan intensitas, bukan sekadar kepatuhan administratif. Pada tahap koreksi, insentif dan sanksi harus cukup kuat untuk mengubah perilaku. Contoh metrik yang relevan meliputi: R&D intensity; patent use; local engineers; vendor localization. Pemilihan indikator perlu menghindari metric gaming, yaitu situasi ketika organisasi terlihat berhasil karena mengejar angka yang mudah dicapai namun tidak mewakili tujuan substantif.

Dimensi teknologi juga perlu dibaca secara lintas waktu. Suatu proyek dapat tampak berhasil pada lima tahun pertama tetapi meninggalkan kewajiban besar pada tahun ke-20, misalnya reklamasi, fasilitas tailings, penurunan kualitas air, atau aset energi yang tidak lagi kompetitif. Karena itu, evaluasi sebaiknya menggunakan life-cycle perspective dan shadow pricing untuk karbon, air, biodiversitas, serta risiko sosial. Pendekatan ini tidak dimaksudkan untuk membuat

semua proyek menjadi tidak ekonomis, melainkan untuk membandingkan alternatif secara lebih jujur dan mencegah keputusan yang menguntungkan satu aktor dengan memindahkan biaya kepada masyarakat atau generasi berikutnya.

Sosial: Kualitas pekerjaan

Memastikan industrialisasi menghasilkan pekerjaan aman, produktif, berkarier, dan inklusif. Dalam kerangka manajemen, isu ini perlu dikelola melalui siklus plan–do–check–act. Pada tahap perencanaan, baseline dan risiko harus didefinisikan sebelum keputusan investasi final. Pada tahap implementasi, tanggung jawab harus dialokasikan secara jelas antara perusahaan, pemerintah pusat, pemerintah daerah, kontraktor, dan lembaga pengawas. Pada tahap evaluasi, hasil harus dibandingkan terhadap target absolut dan intensitas, bukan sekadar kepatuhan administratif. Pada tahap koreksi, insentif dan sanksi harus cukup kuat untuk mengubah perilaku. Contoh metrik yang relevan meliputi: Fatality rate; wage quality; training hours; local technical employment. Pemilihan indikator perlu menghindari metric gaming, yaitu situasi ketika organisasi terlihat berhasil karena mengejar angka yang mudah dicapai namun tidak mewakili tujuan substantif.

Dimensi sosial juga perlu dibaca secara lintas waktu. Suatu proyek dapat tampak berhasil pada lima tahun pertama tetapi meninggalkan kewajiban besar pada tahun ke-20, misalnya reklamasi, fasilitas tailings, penurunan kualitas air, atau aset energi yang tidak lagi kompetitif. Karena itu, evaluasi sebaiknya menggunakan life-cycle perspective dan shadow pricing untuk karbon, air, biodiversitas, serta risiko sosial. Pendekatan ini tidak dimaksudkan untuk membuat semua proyek menjadi tidak ekonomis, melainkan untuk membandingkan alternatif secara lebih jujur dan mencegah keputusan yang menguntungkan satu aktor dengan memindahkan biaya kepada masyarakat atau generasi berikutnya.

Lingkungan: Daya dukung ekosistem

Mengendalikan dampak kumulatif tambang, smelter, pelabuhan, permukiman, dan infrastruktur pada satu lanskap. Dalam kerangka manajemen, isu ini perlu dikelola melalui siklus plan–do–check–act. Pada tahap perencanaan, baseline dan risiko harus didefinisikan sebelum keputusan investasi final. Pada tahap implementasi, tanggung jawab harus dialokasikan secara jelas antara perusahaan, pemerintah pusat, pemerintah daerah, kontraktor, dan lembaga pengawas. Pada tahap evaluasi, hasil harus dibandingkan terhadap target absolut dan intensitas, bukan sekadar kepatuhan administratif. Pada tahap koreksi, insentif dan sanksi harus cukup kuat untuk mengubah perilaku. Contoh metrik yang relevan meliputi: Forest loss; water quality; sediment load; biodiversity indicators. Pemilihan indikator perlu menghindari metric gaming, yaitu situasi ketika organisasi terlihat berhasil karena mengejar angka yang mudah dicapai namun tidak mewakili tujuan substantif.

Dimensi lingkungan juga perlu dibaca secara lintas waktu. Suatu proyek dapat tampak berhasil pada lima tahun pertama tetapi meninggalkan kewajiban besar pada tahun ke-20, misalnya reklamasi, fasilitas tailings, penurunan kualitas air, atau aset energi yang tidak lagi kompetitif. Karena itu, evaluasi sebaiknya menggunakan life-cycle perspective dan shadow pricing untuk karbon, air, biodiversitas, serta risiko sosial. Pendekatan ini tidak dimaksudkan untuk membuat semua proyek menjadi tidak ekonomis, melainkan untuk membandingkan alternatif secara lebih jujur dan mencegah keputusan yang menguntungkan satu aktor dengan memindahkan biaya kepada masyarakat atau generasi berikutnya.

Karbon: Intensitas emisi

Menggeser indikator dari total kapasitas menuju emisi per ton produk dan trajectory penurunannya. Dalam kerangka manajemen, isu ini perlu dikelola melalui siklus plan–do–check–act. Pada tahap perencanaan, baseline dan risiko harus didefinisikan sebelum keputusan investasi final. Pada tahap implementasi, tanggung jawab harus dialokasikan secara jelas antara perusahaan, pemerintah pusat, pemerintah daerah, kontraktor, dan lembaga pengawas. Pada tahap evaluasi, hasil harus dibandingkan terhadap target absolut dan intensitas, bukan sekadar kepatuhan administratif. Pada tahap koreksi, insentif dan sanksi harus cukup kuat untuk mengubah perilaku. Contoh metrik yang relevan meliputi: tCO₂e/ton product; renewable share; coal phase-down milestone. Pemilihan indikator perlu menghindari metric gaming, yaitu situasi ketika organisasi terlihat berhasil karena mengejar angka yang mudah dicapai namun tidak mewakili tujuan substantif.

Dimensi karbon juga perlu dibaca secara lintas waktu. Suatu proyek dapat tampak berhasil pada lima tahun pertama tetapi meninggalkan kewajiban besar pada tahun ke-20, misalnya reklamasi, fasilitas tailings, penurunan kualitas air, atau aset energi yang tidak lagi kompetitif. Karena itu, evaluasi sebaiknya menggunakan life-cycle perspective dan shadow pricing untuk karbon, air, biodiversitas, serta risiko sosial. Pendekatan ini tidak dimaksudkan untuk membuat semua proyek menjadi tidak ekonomis, melainkan untuk membandingkan alternatif secara lebih jujur dan mencegah keputusan yang menguntungkan satu aktor dengan memindahkan biaya kepada masyarakat atau generasi berikutnya.

Tata kelola: Transparansi dan penegakan

Membangun kepercayaan melalui data terbuka, audit independen, inspeksi, dan sanksi yang konsisten. Dalam kerangka manajemen, isu ini perlu dikelola melalui siklus plan–do–check–act. Pada tahap perencanaan, baseline dan risiko harus didefinisikan sebelum keputusan investasi final. Pada tahap implementasi, tanggung jawab harus dialokasikan secara jelas antara perusahaan, pemerintah pusat, pemerintah daerah, kontraktor, dan lembaga pengawas. Pada tahap evaluasi, hasil harus dibandingkan terhadap target absolut dan intensitas, bukan sekadar kepatuhan administratif. Pada tahap koreksi, insentif dan sanksi harus cukup kuat untuk mengubah perilaku. Contoh metrik yang relevan meliputi: Disclosure completeness; audit findings closed; complaint resolution. Pemilihan indikator perlu menghindari metric gaming, yaitu situasi ketika organisasi terlihat berhasil karena mengejar angka yang mudah dicapai namun tidak mewakili tujuan substantif.

Dimensi tata kelola juga perlu dibaca secara lintas waktu. Suatu proyek dapat tampak berhasil pada lima tahun pertama tetapi meninggalkan kewajiban besar pada tahun ke-20, misalnya reklamasi, fasilitas tailings, penurunan kualitas air, atau aset energi yang tidak lagi kompetitif. Karena itu, evaluasi sebaiknya menggunakan life-cycle perspective dan shadow pricing untuk karbon, air, biodiversitas, serta risiko sosial. Pendekatan ini tidak dimaksudkan untuk membuat semua proyek menjadi tidak ekonomis, melainkan untuk membandingkan alternatif secara lebih jujur dan mencegah keputusan yang menguntungkan satu aktor dengan memindahkan biaya kepada masyarakat atau generasi berikutnya.

Ketahanan: Risiko harga dan teknologi

Menguji proyek terhadap skenario harga rendah, perubahan kimia baterai, dan substitusi material. Dalam kerangka manajemen, isu ini perlu dikelola melalui siklus plan–do–check–act. Pada tahap perencanaan, baseline dan risiko harus didefinisikan sebelum keputusan investasi final. Pada tahap implementasi, tanggung jawab harus dialokasikan secara jelas antara perusahaan, pemerintah pusat, pemerintah daerah, kontraktor, dan lembaga pengawas. Pada tahap evaluasi, hasil harus dibandingkan terhadap target absolut dan intensitas, bukan sekadar kepatuhan administratif. Pada tahap koreksi, insentif dan sanksi harus cukup kuat untuk mengubah perilaku. Contoh metrik yang relevan meliputi: Stress-test coverage; debt resilience; product flexibility. Pemilihan indikator perlu menghindari metric gaming, yaitu situasi ketika organisasi terlihat berhasil karena mengejar angka yang mudah dicapai namun tidak mewakili tujuan substantif.

Dimensi ketahanan juga perlu dibaca secara lintas waktu. Suatu proyek dapat tampak berhasil pada lima tahun pertama tetapi meninggalkan kewajiban besar pada tahun ke-20, misalnya reklamasi, fasilitas tailings, penurunan kualitas air, atau aset energi yang tidak lagi kompetitif. Karena itu, evaluasi sebaiknya menggunakan life-cycle perspective dan shadow pricing untuk karbon, air, biodiversitas, serta risiko sosial. Pendekatan ini tidak dimaksudkan untuk membuat semua proyek menjadi tidak ekonomis, melainkan untuk membandingkan alternatif secara lebih jujur dan mencegah keputusan yang menguntungkan satu aktor dengan memindahkan biaya kepada masyarakat atau generasi berikutnya.

Sirkularitas: Pemanfaatan material sekunder

Menghubungkan tambang primer dengan daur ulang dan industrial symbiosis. Dalam kerangka manajemen, isu ini perlu dikelola melalui siklus plan–do–check–act. Pada tahap perencanaan, baseline dan risiko harus didefinisikan sebelum keputusan investasi final. Pada tahap implementasi, tanggung jawab harus dialokasikan secara jelas antara perusahaan, pemerintah pusat, pemerintah daerah, kontraktor, dan lembaga pengawas. Pada tahap evaluasi, hasil harus dibandingkan terhadap target absolut dan intensitas, bukan sekadar kepatuhan administratif. Pada tahap koreksi, insentif dan sanksi harus cukup kuat untuk mengubah perilaku. Contoh metrik yang relevan meliputi: Recycled input share; recovery rate; waste valorization with safety proof. Pemilihan indikator perlu menghindari metric gaming, yaitu situasi ketika organisasi terlihat berhasil karena mengejar angka yang mudah dicapai namun tidak mewakili tujuan substantif.

Dimensi sirkularitas juga perlu dibaca secara lintas waktu. Suatu proyek dapat tampak berhasil pada lima tahun pertama tetapi meninggalkan kewajiban besar pada tahun ke-20, misalnya reklamasi, fasilitas tailings, penurunan kualitas air, atau aset energi yang tidak lagi kompetitif. Karena itu, evaluasi sebaiknya menggunakan life-cycle perspective dan shadow pricing untuk karbon, air, biodiversitas, serta risiko sosial. Pendekatan ini tidak dimaksudkan untuk membuat semua proyek menjadi tidak ekonomis, melainkan untuk membandingkan alternatif secara lebih jujur dan mencegah keputusan yang menguntungkan satu aktor dengan memindahkan biaya kepada masyarakat atau generasi berikutnya.

Glosarium

Istilah	Pengertian
Bauksit	Bijih utama aluminium yang umumnya diolah menjadi alumina sebelum direduksi menjadi aluminium primer.
Battery passport	Rekam jejak digital baterai yang memuat informasi asal material, jejak karbon, komposisi, dan aspek keberlanjutan.
Circular economy	Sistem ekonomi yang berupaya mempertahankan nilai material selama mungkin melalui pengurangan, penggunaan kembali, perbaikan, remanufaktur, dan daur ulang.
Critical minerals	Mineral yang penting bagi ekonomi atau keamanan strategis dan menghadapi risiko gangguan pasokan.
Domestic value added	Bagian nilai ekonomi produk yang benar-benar dihasilkan dan dipertahankan dalam perekonomian domestik.
ESG	Environmental, Social, and Governance; kerangka penilaian kinerja dan risiko lingkungan, sosial, serta tata kelola.
Ferronickel	Paduan besi dan nikel yang digunakan terutama sebagai bahan baku industri baja nirkarat.
Green extractivism	Kritik terhadap pola ekstraksi sumber daya yang diperluas dengan legitimasi transisi hijau tanpa cukup mengatasi dampak sosial-ekologis.
Hilirisasi	Peningkatan pengolahan sumber daya di dalam negeri menuju produk bernilai tambah lebih tinggi.
HPAL	High Pressure Acid Leaching; proses hidrometalurgi bertekanan tinggi untuk mengekstraksi nikel dan kobalt dari bijih laterit tertentu.
Industrial symbiosis	Pemanfaatan energi, air, atau produk samping satu industri sebagai input bagi industri lain dalam suatu jaringan produksi.

LCA	Life Cycle Assessment; metode untuk menilai dampak lingkungan produk atau proses sepanjang siklus hidupnya.
Mitigation hierarchy	Urutan pengelolaan dampak: menghindari, meminimalkan, memulihkan, dan mengompensasi dampak residual.
MHP	Mixed Hydroxide Precipitate; produk antara nikel-kobalt yang dapat digunakan dalam rantai bahan baterai.
Nickel pig iron	Produk besi dengan kandungan nikel yang digunakan terutama dalam produksi stainless steel.
RKEF	Rotary Kiln-Electric Furnace; proses pirometalurgi umum untuk mengolah bijih nikel laterit menjadi ferronickel atau nickel pig iron.
Red mud	Residu alkalin dari proses Bayer dalam pengolahan bauksit menjadi alumina.
Resource curse	Kondisi ketika kekayaan sumber daya alam tidak menghasilkan pembangunan luas karena volatilitas, tata kelola buruk, konflik, atau ketergantungan ekonomi.
Resource nationalism	Kebijakan negara untuk meningkatkan kontrol dan manfaat domestik dari sumber daya alam.
Social license to operate	Penerimaan dan kepercayaan masyarakat terhadap operasi perusahaan yang melampaui izin legal formal.
Smelter	Fasilitas pengolahan dan/atau pemurnian mineral melalui proses termal, kimia, atau kombinasi proses.
Stranded asset	Aset yang kehilangan nilai ekonomi lebih cepat dari perkiraan akibat perubahan teknologi, pasar, regulasi, atau kondisi lingkungan.
Tailings	Sisa material hasil pengolahan bijih setelah mineral berharga dipisahkan.
Traceability	Kemampuan menelusuri asal, perpindahan, proses, dan atribut keberlanjutan material sepanjang rantai pasok.

Transisi energi	Perubahan sistem energi dari dominasi bahan bakar fosil menuju sumber dan teknologi rendah karbon.
-----------------	--

Daftar Pustaka

- International Energy Agency. (2025). Global Critical Minerals Outlook 2025. IEA.
<https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101564>
- Mudd, G. M. (2010). Global trends and environmental issues in nickel mining: Sulfides versus laterites. *Ore Geology Reviews*, 38(1–2), 9–26.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2010.05.003>
- Rela, I. Z., Awang, A. H., Ramli, Z., Md Sum, S., & Meisanti. (2020). Effects of environmental corporate social responsibility on environmental well-being perception and the mediation role of community resilience. *Sustainability*, 12(4), 1395.
<https://doi.org/10.3390/su12041395>
- Rela, I. Z., Awang, A. H., Ramli, Z., Md Sum, S., & Meisanti. (2021). Formation of farming community resilience models for sustainable agricultural development at the mining neighborhood in Southeast Sulawesi Indonesia. *Sustainability*, 13(2), 878.
<https://doi.org/10.3390/su13020878>
- Lim, B., Lin, M.-Y., & Chang, T. (2021). Implicit interpretation of Indonesian export bans on LME nickel prices: Evidence from the announcement effect. *Risks*, 9(5), 93.
<https://doi.org/10.3390/risks9050093>
- Rosada, F., & Widyastutik. (2023). The impact of Indonesia–China nickel cooperations on Indonesia’s economic and environmental conditions. *Nation State: Journal of International Studies*, 6(2). <https://doi.org/10.24076/nsjjs.v6i2.1270>
- Kasyfilham, F., et al. (2025). The politics of nickel and energy transition in Morowali. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1537, 012045.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1537/1/012045>
- Hapsari, B. J. P., et al. (2025). Formulation of a nickel mining cooperation agreement model based on sustainable development principles. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1537, 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1537/1/012055>
- Diphda, B. C., & Triarda, R. (2026). Unraveling green extractivism: The case of nickel downstreaming in Indonesia Morowali Industrial Park. *KARSA Journal of Social and Islamic Culture*, 34(1). <https://doi.org/10.19105/karsa.v34i1.23862>
- Hyman, J., et al. (2026). Growing nickel supply from the tropics threatens priority areas for biodiversity conservation. *Nature Ecology & Evolution*. <https://doi.org/10.1038/s41559-026-03068-4>
- Rivota, D. R., & Wardhana, A. R. (2026). Navigating the complexities of Indonesia’s journey to develop a downstream nickel industry. In *Downstream Diversification of Mineral-Rich Countries*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-06139-3_13
- Kim, K. (2026). Impacts of the Indonesian nickel sector industrialization. In *Downstream Diversification of Mineral-Rich Countries*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-06139-3_12
- Bilek, P. (2026). Resource-based downstream diversification, critical minerals, and industrial policy: The case of selected Southeast Asian countries. In *Downstream Diversification of Mineral-Rich Countries*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-06139-3_11

- Moerenhout, T. S. H. (2026). Downstream diversification of mineral-rich countries: Lessons for policymakers. In *Downstream Diversification of Mineral-Rich Countries*. Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-032-06139-3_15
- Amegboleza, A. A., et al. (2025). Sustainable energy transition for the mining industry: A systematic review. *Sustainability*, 17(5), 2292. <https://doi.org/10.3390/su17052292>
- Siahaan, J. R., et al. (2025). A triple-bottom-line performance measurement model for sustainable post-mining landscape governance. *Sustainability*, 17(13), 6218.
<https://doi.org/10.3390/su17136218>
- Siahaan, J. R., et al. (2025). Reframing sustainability in post-mining landscapes: Governance, restoration, and community resilience. *Sustainability*, 17(12), 5278.
<https://doi.org/10.3390/su17125278>
- Shmelev, S. E., et al. (2025). Biodiversity offset schemes for Indonesia: Pro et contra. *Sustainability*, 17(14), 6283. <https://doi.org/10.3390/su17146283>
- Azizah, L., et al. (2026). Sourcing critical metal from critical habitat: Is the trade-off between nickel mining and biodiversity inevitable? *Land*, 15(2), 273.
<https://doi.org/10.3390/land15020273>
- International Energy Agency. (2025). Coal 2025. IEA.