



## **Pengembangan Hilirisasi Tembaga dan Perannya Dalam Mendorong Industri Produk Akhir Nasional**

Alieftiyani Paramita Gobel<sup>1</sup>, M. Ridha Addavari<sup>2</sup>, M. Dhaffa Faatihah<sup>3</sup>, Oreza Marzendy Sumarsyah<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup> Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Indonesia

Email: [drajasha01@gmail.com](mailto:drajasha01@gmail.com), [ridhabalataw84@gmail.com](mailto:ridhabalataw84@gmail.com)

### **Abstract**

*The development of copper downstreaming has become a priority strategy due to the increasing global demand for copper in line with the energy transition, while domestic added value remains limited due to the dominance of concentrate exports. This study aims to map the copper downstreaming value chain at the national level, its contribution to the development of final industrial products, and identify challenges and opportunities for policy and technical implementation. The method used is a systematic desk study with a qualitative descriptive approach, combining secondary data from scientific literature, industry reports, and policy documents to synthesize quantitative evidence and qualitative arguments related to upstream–midstream–downstream capacity, inter-industry needs, and circular economy practices. The study results indicate that increasing midstream capacity (smelters/refineries) has the potential to increase cathode supply and open up space for the production of semi-finished products and value-added final products but realizing these benefits requires supply integration (feedstock), off-take/TKDN policies, long-term financing, and technical human resource development. Copper recycling has also emerged as an important pillar for resilience and reducing the environmental footprint. In conclusion, copper downstreaming can effectively promote the national final product industry if implemented through a coherent policy that combines midstream investment, downstream industry incentives, financing schemes, and a circular economy strategy.*

*Keywords: copper downstreaming, value chain, end products, industrial policy, recycling*

### **Abstrak**

*Pengembangan hilirisasi tembaga menjadi prioritas strategis karena permintaan tembaga global yang meningkat sejalan dengan transisi energi, sementara nilai tambah domestik masih terbatas akibat dominasi ekspor konsentrat. Penelitian ini bertujuan memetakan rantai nilai hilirisasi tembaga di tingkat nasional, mengevaluasi kontribusinya terhadap pengembangan industri produk akhir, serta mengidentifikasi tantangan dan peluang implementasi kebijakan dan teknis. Metode yang digunakan adalah studi pustaka sistematis dengan pendekatan deskriptif kualitatif, memadukan data sekunder dari literatur ilmiah, laporan industri, dan dokumen kebijakan untuk mensintesis bukti kuantitatif dan argumen kualitatif terkait kapasitas hulu–midstream–hilir, kebutuhan industri antar, serta praktik circular economy. Hasil kajian menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas midstream (smelter/refinery) berpotensi meningkatkan pasokan katoda dan membuka ruang bagi produksi produk setengah jadi serta produk akhir bernilai tambah namun realisasi manfaat tersebut mensyaratkan integrasi pasokan (feedstock), kebijakan off-take/TKDN, pembiayaan jangka panjang, serta pengembangan SDM teknis. Daur ulang tembaga juga muncul sebagai pilar penting untuk ketahanan pasokan dan pengurangan jejak lingkungan. Kesimpulannya, hilirisasi tembaga efektif mendorong industri produk akhir nasional jika dilaksanakan melalui kebijakan koheren yang menggabungkan investasi midstream, insentif industri hilir, skema pembiayaan, dan strategi circular economy.*

Kata kunci: hilirisasi tembaga, rantai nilai, produk akhir, kebijakan industri, daur ulang

## PENDAHULUAN

Tembaga merupakan salah satu logam strategis yang memainkan peran krusial dalam struktur ekonomi global modern karena sifat fisik dan kimianya terutama konduktivitas listrik yang tinggi, ketahanan korosi, dan kemampuan daur ulang yang kuat yang menjadikannya bahan utama dalam berbagai aplikasi teknologi tinggi dan infrastruktur industri.

Permintaan tembaga diperkirakan meningkat seiring dengan percepatan energy transition, di mana teknologi rendah karbon seperti pembangkit energi terbarukan, kendaraan listrik, sistem penyimpanan energi, dan jaringan distribusi listrik sangat bergantung pada logam ini untuk pelaksanaannya secara efisien dan berkelanjutan. Analisis global menunjukkan bahwa peran tembaga dalam transisi energi berkontribusi pada kenaikan permintaan logam ini dalam beberapa dekade mendatang. Secara sistematis, logam ini termasuk dalam kategori critical raw materials yang penting bagi pencapaian tujuan net-zero dan kebutuhan manufaktur industri modern [1-2].

Rantai nilai industri tembaga mencakup beberapa tahap utama: eksplorasi dan penambangan, pengolahan konsentrat bijih, peleburan dan pemurnian menjadi katoda tembaga, pembuatan produk semi-finished (*misire-rod, billet*), hingga produk akhir yang digunakan oleh industri manufaktur seperti kabel listrik, panel elektronik, komponen otomotif, dan sistem energi. Struktur value chain ini menunjukkan bahwa setiap tahap memiliki potensi peningkatan nilai tambah yang signifikan bila dilakukan secara domestik dan terintegrasi dalam satu ekosistem industri [3].

Dalam konteks nasional, Indonesia merupakan salah satu negara produsen tembaga utama di dunia. Menurut data lembaga internasional, Indonesia berada pada posisi ketujuh global dalam hal produksi tembaga dan memiliki cadangan yang signifikan, tetapi sebagian besar produksi dipasarkan dalam bentuk konsentrat atau produk mentah lainnya sehingga nilai tambah yang dihasilkan secara domestik masih terbatas. Kondisi ini menunjukkan bahwa hilirisasi tembaga yakni transformasi dari komoditas primer ke produk dengan nilai tambah lebih tinggi seperti intermediate goods dan produk akhir belum optimal dan masih menghadapi tantangan struktural pada sisi downstream industry.

Kajian akademik khususnya pada konteks industri nasional menunjukkan bahwa keterbatasan pengembangan industri antar (intermediate industries) mendorong impor produk setengah jadi dari luar negeri untuk memenuhi kebutuhan manufaktur domestik, yang pada gilirannya menghambat penciptaan nilai tambah optimal dari sumber daya

tembaga yang tersedia secara lokal [3]. Pendekatan system dynamics dalam penelitian ilmiah telah digunakan untuk memodelkan rantai industri tembaga di Indonesia, memetakan keuntungan ekonomi potensial jika hilirisasi dijalankan penuh, serta mengestimasi nilai tambah yang dapat diperoleh bila smelter dan fasilitas pemurnian selesai dibangun dan beroperasi [3-4].

Dari perspektif ekonomi dan kebijakan publik, hilirisasi tembaga juga berkaitan erat dengan upaya peningkatan daya saing industri nasional serta penciptaan lapangan kerja terampil melalui integrasi nilai tambang dengan sektor manufaktur. Pergerakan menuju hilirisasi penuh memerlukan perumusan kebijakan yang kuat, termasuk kewajiban DMO (*Domestic Market Obligation*), insentif investasi, serta dukungan terhadap industrialisasi hilir yang mendukung produk bernilai tambah tinggi. Implementasi strategi hilirisasi yang efektif tidak hanya berimplikasi pada aspek ekonomi, tetapi juga memperkuat ketahanan pasokan komoditas strategis yang penting bagi pembangunan nasional jangka panjang [5].

Dengan latar belakang tersebut, artikel ini memiliki tiga tujuan utama: (1) memetakan rantai nilai hilirisasi tembaga di tingkat nasional, (2) mengevaluasi kontribusi hilirisasi tembaga terhadap perannya dalam mendorong industri produk akhir nasional, dan (3) mengidentifikasi kendala serta peluang strategis kebijakan dan teknis untuk mempercepat implementasi hilirisasi secara berkelanjutan di Indonesia.

## **METODE PENELITIAN**

Artikel ini disusun menggunakan metode studi pustaka (*literature review*) dengan pendekatan deskriptif kualitatif untuk menganalisis pengembangan hilirisasi tembaga dan perannya dalam mendorong industri produk akhir nasional. Studi pustaka dipilih karena tujuan penelitian berfokus pada pemetaan konsep, kebijakan, dan temuan ilmiah terdahulu yang relevan dengan rantai nilai tembaga serta implikasinya terhadap pengembangan industri hilir.

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber ilmiah dan dokumen resmi, meliputi artikel jurnal nasional dan internasional, buku referensi akademik, laporan industri, serta dokumen kebijakan pemerintah yang berkaitan dengan industri tembaga dan strategi hilirisasi mineral. Literatur yang dikaji mencakup pembahasan mengenai rantai nilai tembaga dari kegiatan hulu hingga hilir, pengembangan

industri pengolahan dan pemurnian, serta pemanfaatan tembaga sebagai bahan baku pada sektor industri manufaktur dan produk akhir.

Analisis dilakukan dengan mensintesis informasi dari berbagai sumber untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai posisi hilirisasi tembaga dalam sistem industri nasional. Hasil analisis selanjutnya digunakan untuk merumuskan implikasi strategis serta rekomendasi pengembangan hilirisasi tembaga yang mendukung peningkatan daya saing industri produk akhir di Indonesia.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **A. Rantai Nilai Hilirisasi Tembaga dari Hulu ke Hilir**

Rantai nilai (*value chain*) tembaga terdiri dari rangkaian kegiatan berjenjang yang dimulai dari eksplorasi dan penambangan, diikuti oleh pengolahan bijih menjadi konsentrat, kemudian peleburan & pemurnian (*smelting & refining*) menghasilkan katoda tembaga, serta diakhiri oleh produksi barang setengah jadi (*intermediate goods*) dan produk akhir yang digunakan oleh sektor manufaktur (kabel, komponen elektronik, sistem kelistrikan, dan lain-lain). Setiap tahapan menambahkan margin nilai yang berbeda dan integrasi domestik dari beberapa atau seluruh tahapan inilah yang disebut sebagai upaya hilirisasi yang dapat meningkatkan nilai tambah nasional. [6].

Permintaan tembaga global dipengaruhi kuat oleh proses dekarbonisasi dan elektrifikasi, sehingga proyeksi permintaan menunjukkan peningkatan substansial dalam beberapa dekade ke depan. Laporan internasional menyatakan bahwa kebutuhan tembaga akan meningkat signifikan untuk mendukung skala besar pembangunan infrastruktur energi terbarukan, kendaraan listrik, dan jaringan distribusi yang lebih padat faktor yang memperkuat urgensi pengembangan rantai nilai tembaga domestik. [7].

Secara sumberdaya dan produksi, data teknis primer menunjukkan bahwa cadangan dan produksi tembaga global masih besar, namun distribusi pasokan cenderung terpusat pada sejumlah negara dan proyek besar. Laporan USGS terakhir menyajikan statistik produksi dan cadangan yang menjadi acuan bagi analisis kebijakan mineral strategis; data ini berguna untuk mengukur posisi suatu negara dalam rantai pasok global dan merencanakan strategi hilirisasi. [8].

Dalam konteks nasional, pengoperasian smelter skala besar merupakan titik balik kemampuan hilirisasi. Contoh proyek domestik berkapasitas besar, yaitu pembangunan smelter katoda tembaga oleh perusahaan tambang besar, menunjukkan bagaimana peningkatan kapasitas pemurnian akan mengubah aliran nilai (mengurangi ekspor konsentrat mentah dan meningkatkan pasokan katoda untuk industri dalam negeri). Pembangunan fasilitas pemurnian yang mampu memproduksi katoda dalam jumlah ratusan ribu ton per tahun secara nyata memperbesar peluang pengembangan produk setengah jadi dan produk akhir berbasis tembaga. [9].

Beberapa studi kasus dan model rantai nilai pada konteks Indonesia menunjukkan struktur subsistem yang perlu diintegrasikan untuk mencapai nilai tambah maksimal: (1) hulu (penambangan dan konsentrasi), (2) peleburan & pemurnian (midstream), (3) industri antara (pembuatan wire-rod, billet, strip), dan (4) pasar akhir (kabel, peralatan listrik, elektronik). Analisis kuantitatif pada tingkat stok-flow atau system dynamics pada studi terdahulu memperlihatkan bahwa peningkatan kapasitas midstream (smelter/refinery) memberikan dampak pengganda terhadap nilai tambah nasional bila diiringi dukungan kapasitas industri antar dan kebijakan yang mendorong off-take domestik. [3].

Walaupun peluang hilirisasi jelas, ada beberapa karakteristik teknis-ekonomi pada rantai nilai yang perlu diperhatikan pada tahap penerapan: (a) skala ekonomis smelter dan fasilitas pemrosesan (margin unit sangat dipengaruhi oleh skala produksi), (b) ketersediaan feedstock (kualitas dan kontinuitas pasokan konsentrat), (c) integrasi logistik antara lokasi tambang dan fasilitas pemrosesan, serta (d) keterkaitan permintaan industri domestik (yang menentukan absorpsi produk setengah jadi). Kegagalan menyeimbangkan faktor-faktor ini berisiko menyebabkan under-utilization kapasitas pemurnian atau tetap berlakunya ekspor produk mentah sebagai pilihan ekonomi. [7,3].

Implikasi untuk strategi hilirisasi nasional. Dari sintesis bukti di atas dapat ditarik beberapa implikasi langsung: (1) investasi pada midstream (*smelter & refinery*) harus diselaraskan dengan program pengembangan industri antar (wire-rod, kabel, komponen) agar batu loncatan nilai tambah tidak berhenti pada tahap katoda; (2) kebijakan industri harus memfasilitasi kontrak *off-take* dan insentif TKDN agar produk katoda dan setengah jadi diprioritaskan untuk pemrosesan domestik; (3) strategi pasokan bahan baku dan logistik (termasuk *buffer stock* atau diversifikasi sumber konsentrat) perlu dirancang untuk

menjaga utilisasi pabrik pemurnian yang besar; dan (4) *monitoring* nilai tambah nyata (penentuan margin per tahap) harus menjadi indikator kinerja kebijakan hilirisasi sehingga dampak ekonomi dapat diukur secara kuantitatif. Rangka rekomendasi teknis dan kebijakan ini akan dirinci lebih lanjut pada subbab selanjutnya. [9.3].

## **B. Peran Hilirisasi Tembaga terhadap Pengembangan Industri Produk Akhir Nasional**

Tembaga memiliki aplikasi yang sangat luas pada produk akhir bernilai tambah terutama pada kabel dan konduktor listrik, komponen elektronik, motor listrik dan generator, serta komponen industri energi terbarukan (mis. turbin angin, *inverter*, dan konektor panel surya). Karena sifat konduktivitasnya, tembaga menjadi bahan baku utama pada rantai nilai elektrifikasi; oleh karena itu, peningkatan pasokan katoda dan produk setengah jadi yang diproses secara domestik dapat langsung berdampak pada kapasitas produksi produk akhir nasional. [7].

Secara kuantitatif, proyeksi permintaan tembaga global yang berkaitan dengan energy transition menunjukkan kenaikan substansial dalam beberapa dekade mendatang dengan beberapa skenario proyeksi yang memprediksi kenaikan permintaan puluhan persen hingga mendekati dua kali lipat tergantung asumsi skenario dekarbonisasi dan elektrifikasi. Peningkatan permintaan ini memperkuat urgensi pengembangan kapasitas *midstream* (*smelter & refinery*) dan *downstream* (pembuatan *wire-rod*, kabel, komponen) agar negara produsen dapat merebut nilai tambah lebih besar daripada hanya mengekspor konsentrat.

Di tingkat nasional, kapasitas industri hilir (mis. pabrik pembuatan kabel, pabrik pembuatan *wire-rod*, dan pabrik komponen elektronik) menentukan sejauh mana katoda dan produk setengah jadi dapat diserap. Studi pemodelan rantai nilai di Indonesia menunjukkan bahwa pembangunan fasilitas peleburan dan pemurnian (*midstream*) akan meningkatkan nilai tambah nasional secara signifikan jika disertai peningkatan kapasitas industri antar dan kebijakan *off-take* yang memprioritaskan pemenuhan kebutuhan domestik. Dengan kata lain, hilirisasi tembaga berpotensi mengalihkan aliran nilai dari ekspor konsentrat ke produk bernilai tambah domestik, namun realisasi manfaat tersebut tergantung pada integrasi kapasitas antar-sektor. [3].

Contoh nyata intervensi kapasitas midstream yang berpotensi mengubah kondisi pasar domestik adalah dimulainya operasi smelter katoda skala besar yang memasok katoda bagi industri dalam negeri. Kasus pembangunan smelter Gresik oleh salah satu perusahaan tambang besar menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas pemurnian dapat menyediakan pasokan katoda yang cukup untuk mensuplai industri kabel dan pembuatan produk setengah jadi, sehingga membuka peluang substitusi impor dan peningkatan TKDN (Tingkat Komponen Dalam Negeri). Namun, agar efek ini berkelanjutan perlu pengaturan kebijakan *off-take*, insentif pengembangan industri antar, dan penjaminan ketersediaan *feedstock*. [9].

Peran daur ulang (*recycling*) juga signifikan dalam memperkuat hilirisasi: daur ulang tembaga *scrap* mengurangi kebutuhan bahan baku primer, menstabilkan pasokan logam untuk industri manufaktur, dan menurunkan intensitas energi dibandingkan produksi dari bijih baru. Integrasi strategi *circular economy* menggabungkan produksi katoda domestik, penggunaan *scrap*, dan pengolahan produk akhir bekas dapat meningkatkan ketahanan pasokan bahan baku bagi industri akhir sambil menurunkan jejak lingkungan. [6].

Akhirnya, implikasi kebijakan yang muncul dari bukti-bukti di atas bersifat praktis dan spesifik. Pemerintah dan pelaku industri perlu mengukur kinerja hilirisasi dengan indikator kuantitatif (mis. margin nilai tambah per tahap, utilisasi kapasitas midstream, rasio substitusi impor produk akhir, dan penyerapan tenaga kerja terampil). Selain itu, instrumen kebijakan seperti insentif fiskal untuk investee downstream, peraturan DMO/*off-take* yang jelas, fasilitas pembiayaan jangka panjang, dan program peningkatan keterampilan SDM harus dirancang untuk menghapus hambatan transisi dari produksi katoda menjadi produksi produk akhir bernilai tinggi. Perencanaan semacam itu perlu dilandasi data kuantitatif yang dapat diverifikasi sehingga rekomendasi kebijakan dapat diimplementasikan dan dievaluasi. [3,10].

### **C. Tantangan dan Peluang Pengembangan Hilirisasi Tembaga**

Pengembangan hilirisasi tembaga menghadapi tantangan pasokan dan permintaan global yang bersifat struktural: permintaan tembaga diproyeksikan meningkat signifikan akibat transisi energi, sementara pasokan primer dipengaruhi oleh konsentrasi proyek tambang di beberapa negara, keterlambatan proyek baru, dan risiko operasional. Kondisi ini menciptakan volatilitas harga dan risiko bagi investor hilirisasi domestik investor

memerlukan kepastian pasokan konsentrat atau katoda untuk menjamin utilisasi pabrik pemurnian dan fasilitas downstream. Studi IEA dan ringkasan komoditas USGS menekankan perlunya sinkronisasi kebijakan sumber daya dan investasi untuk merespon gap pasokan-permintaan ini. [7-8].

Kendala teknis-operasional di tingkat nasional berkaitan dengan skala ekonomi fasilitas pemurnian (smelter), kontinuitas feedstock, dan konektivitas logistik. Pengalaman kasus pembangunan smelter katoda besar (mis. proyek Gresik) menunjukkan bahwa tanpa jaminan feedstock yang stabil dan perencanaan logistik yang efisien, risiko under-utilization pabrik tinggi yang membuat margin hilir tidak kompetitif dibandingkan ekspor konsentrat. Oleh karena itu strategi hilirisasi harus memasukkan perencanaan pasokan (kontrak jangka panjang, *buffer stock*), infrastruktur pelabuhan/transportasi, dan perjanjian *off-take* yang jelas antara pertambangan dan industri pemurnian. [9,3].

Aspek ekonomi dan pembiayaan menjadi penghambat praktis: investasi kapital intensif untuk smelter dan fasilitas downstream memerlukan akses pembiayaan jangka panjang yang terjangkau dan insentif fiskal yang memadai. Risiko harga komoditas jangka menengah membuat bank/investor menetapkan premi risiko tinggi pada proyek downstream, sehingga peran kebijakan publik (insentif pajak, jaminan negara, skema pembiayaan hijau) menjadi krusial untuk menarik modal. Selain itu, mekanisme pasar domestik yang memastikan preferensi katoda domestik (mis. melalui kebijakan TKDN atau aturan off-take) dapat menurunkan risiko komersial investor downstream. [6].

Tantangan non-teknis mencakup kebijakan, tata kelola, dan tenaga kerja terampil. Konsistensi kebijakan (peraturan ekspor, insentif, standar lingkungan) dan koordinasi antar-lembaga menentukan apakah proyek hilirisasi akan memperoleh kepastian jangka panjang. Selain itu, pengembangan SDM teknis untuk pengoperasian smelter, pemeliharaan, dan manufaktur hilir (kabel, komponennya) memerlukan program pelatihan industri-akademik yang terstruktur; tanpa pipeline SDM yang memadai, utilitas teknologi canggih menjadi kurang efektif. Studi pemodelan nilai di Indonesia menekankan perlunya integrasi kebijakan industri dan program pengembangan keterampilan untuk memaksimalkan nilai tambah. [3,11].

Dari sisi lingkungan dan keberlanjutan, pengelolaan emisi dan limbah pabrik pengolahan tembaga serta aspek daur ulang (recycling) adalah peluang sekaligus tantangan. Hilirisasi yang mengintegrasikan praktik circular economy mis. memasukkan scrap copper, recovery pabrik, dan standar emisi rendah dapat menurunkan intensitas karbon dan biaya bahan baku jangka panjang. Namun implementasinya memerlukan investasi teknologi pengolahan limbah, regulasi lingkungan yang tegas, serta mekanisme insentif untuk penggunaan bahan daur ulang. Laporan IEA merekomendasikan integrasi strategi daur ulang sebagai bagian dari kebijakan mineral kritis untuk menjamin ketahanan pasokan. [7].

Meski demikian, ada peluang strategis yang jelas untuk mengakselerasi hilirisasi tembaga di tingkat nasional: (1) meningkatnya permintaan global dan harga tembaga menciptakan insentif ekonomi untuk investasi downstream; (2) pembangunan smelter besar telah mulai menambah kapasitas katoda domestik, membuka kesempatan bagi industri kabel dan manufaktur komponen untuk berkembang; (3) adopsi teknologi rendah-karbon dan program circular economy dapat menjadi keunggulan kompetitif bagi produk bernilai tambah “*green copper*”; dan (4) sinergi kebijakan fiskal, program pembiayaan, serta kemitraan industri–akademik dapat mempercepat transfer teknologi dan pengembangan SDM. Kombinasi faktor-faktor ini menjadikan saat ini momentum strategis untuk menyusun roadmap hilirisasi tembaga yang realistis dan terukur. [9,7,4].

Rekomendasi ringkas berbasis bukti untuk pengambil kebijakan dan pelaku industri: (a) sinkronkan pembangunan midstream dengan target pengembangan industri antar melalui kontrak *off-take* & insentif TKDN; (b) siapkan skema pembiayaan jangka panjang dan jaminan risiko proyek hilir; (c) bangun program training teknis terfokus untuk smelter & manufaktur hilir; (d) masukkan target circular-economy (penggunaan *scrap*) dan standar emisi dalam kerangka kebijakan hilirisasi; dan (e) monitor indikator kinerja (utilisasi pabrik, margin nilai tambah, rasio substitusi impor) untuk menilai dampak kebijakan. Implementasi dan evaluasi berkala akan memastikan bahwa potensi nilai tambah hilirisasi tembaga dapat direalisasikan secara berkelanjutan. [3,6,7].

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil kajian pustaka dan analisis deskriptif kualitatif yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengembangan hilirisasi tembaga memiliki peran strategis dalam meningkatkan nilai tambah sumber daya mineral serta mendorong penguatan industri produk akhir nasional. Pemetaan rantai nilai tembaga menunjukkan bahwa integrasi kegiatan dari hulu hingga hilir mulai dari penambangan, peleburan dan pemurnian menjadi katoda, hingga pengolahan lanjutan menjadi produk setengah jadi dan produk akhir merupakan kunci utama dalam memaksimalkan manfaat ekonomi domestik. Peningkatan kapasitas midstream, khususnya fasilitas smelter dan refinery, terbukti menjadi prasyarat penting untuk mengurangi ketergantungan ekspor konsentrat dan membuka peluang pengembangan industri hilir berbasis tembaga.

Selanjutnya, hasil pembahasan menunjukkan bahwa hilirisasi tembaga berkontribusi langsung terhadap penguatan industri produk akhir nasional, terutama pada sektor kelistrikan, elektronik, dan energi, yang memiliki kebutuhan tembaga tinggi dan terus meningkat seiring dengan transisi energi dan elektrifikasi. Ketersediaan pasokan katoda dan produk setengah jadi secara domestik berpotensi meningkatkan tingkat substitusi impor, memperbesar Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN), serta mendorong tumbuhnya industri manufaktur bernilai tambah tinggi. Namun demikian, manfaat tersebut hanya dapat direalisasikan secara optimal apabila pengembangan kapasitas pemurnian diiringi dengan kebijakan *off-take*, insentif industri, dan peningkatan kapasitas industri antara yang mampu menyerap produk midstream secara berkelanjutan.

Di sisi lain, kajian ini juga mengidentifikasi sejumlah tantangan utama dalam implementasi hilirisasi tembaga, meliputi kebutuhan investasi yang besar, kepastian pasokan bahan baku, kesiapan infrastruktur dan logistik, konsistensi kebijakan, serta ketersediaan sumber daya manusia terampil. Meskipun demikian, peluang pengembangan tetap terbuka lebar melalui meningkatnya permintaan global, pembangunan fasilitas pemurnian berskala besar, serta penerapan prinsip ekonomi sirkular melalui daur ulang tembaga. Oleh karena itu, hilirisasi tembaga perlu dipandang sebagai strategi jangka panjang yang memerlukan sinergi antara kebijakan pemerintah, investasi industri, dan pengembangan kapasitas nasional agar dapat berkontribusi secara nyata dalam mendorong industri produk akhir nasional yang berdaya saing dan berkelanjutan.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para peneliti dan penulis karya ilmiah yang hasil penelitiannya telah dijadikan rujukan dalam penyusunan artikel ini. Kontribusi pemikiran dan temuan ilmiah dari berbagai sumber literatur tersebut sangat membantu dalam memperkaya analisis serta memperkuat landasan konseptual dan empiris pembahasan yang disajikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Podobińska-Staniec, M., et al. (2025). *Copper as a Critical Resource in the Energy Transition*. *Energies*, 18(4), 969. doi:10.3390/en18040969.
- [2] “Projection of global copper demand in the context of energy transition.” *Resources Policy* (2025). doi:10.1016/j.resourpol.2025.105567.
- [3] Rahmahwati, A., Wibowo, A. P., & Rosyid, F. A. (2022). *Analysis of the Copper Industry Chain in Indonesia...* *Journal of Engineering and Technological Sciences*. doi:10.5614/j.eng.technol.sci.2022.54.5.4.
- [4] Oetomo, D. S., Dewi, E. K., & Ramdhani, R. F. (2024). *Analysis of the Development of Downstream Copper Industry in Indonesia...* *Journal of Information System, Technology and Engineering*. doi:10.61487/jiste.v2i3.85.
- [5] Anugrah, D. F. (2023). *Critical Minerals Industries in Indonesia* (Working Paper).
- [6] IEA *Copper: Analysis* (singkap tembaga spesifik).
- [7] IEA *Global Critical Minerals Outlook 2024 (Outlook for copper demand)*.
- [8] U.S. Geological Survey (USGS). *Mineral Commodity Summaries 2024: Copper*.
- [9] Reuters. (2024). *Freeport Indonesia launches \$3.7 bln Gresik copper smelter*
- [10] Chadha, R., & Pal, T. (2025). *The Copper Report policy notes on export controls and downstreaming strategies*.

USGS. *Mineral Commodity Summaries 2025 Copper*