

IMPLEMENTASI *INTEGRATED GASIFICATION COMBINED CYCLE* SEBAGAI ALTERNATIF STRATEGIS DALAM MENDUKUNG KETAHANAN ENERGI NASIONAL DI ERA TRANSISI

Rizqa Ulya Fakhrun Nisa^{1*}, Suyono Thamrin², Guntur Eko Saputro³

^{1,2,3}Universitas Pertahanan Republik Indonesia

Corresponding e-mail: rizqa.nisa@mp.idu.ac.id

Copyright © 2025 The Author



This is an open access article

Under the Creative Commons Attribution Share Alike 4.0 International License

DOI: 10.53866/jimi.v5i4.965

Abstract

Indonesia's dependence on coal remains high, as reflected in the 2025–2034 RUPTL projections. Amidst the commitment to Net Zero Emissions by 2060, an adaptive and realistic energy transition strategy is needed. This study examines the potential application of Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) technology as a strategic alternative to maintain national energy security while supporting the decarbonization agenda. The method used is descriptive qualitative through a literature review of policy documents, scientific literature, and other supporting data. The analysis results show that IGCC can increase electricity generation efficiency by up to 48% and reduce CO₂ emissions by around 10% compared to conventional coal-fired power plants, and allows integration with Carbon Capture and Storage (CCS) technology. However, its implementation faces challenges such as high investment costs, limited infrastructure, and uncertain policy direction. A SWOT analysis and the 4A+1S (Availability, Accessibility, Affordability, Acceptability, and Sustainability) energy security framework indicate that IGCC has the potential to be a viable medium-term transition solution, particularly in the context of Indonesia's still-dominant coal-based energy base. Consistent regulatory support, fiscal incentives, and strengthening human resource capacity are needed for this technology to be effectively implemented. With a targeted approach, IGCC can be a crucial bridge in the transformation towards a cleaner, more efficient, and more sustainable national energy system.

Keywords: IGCC, clean coal, energy transition, energy security, net-zero emissions.

Abstrak

Ketergantungan Indonesia terhadap batubara masih tinggi, sebagaimana tercermin dalam proyeksi RUPTL 2025–2034. Di tengah komitmen menuju *Net Zero Emission* 2060, diperlukan strategi transisi energi yang adaptif dan realistis. Penelitian ini mengkaji potensi penerapan teknologi *Integrated Gasification Combined Cycle* (IGCC) sebagai alternatif strategis untuk menjaga ketahanan energi nasional sekaligus mendukung agenda dekarbonisasi. Metode yang digunakan adalah deskriptif kualitatif melalui studi pustaka terhadap dokumen kebijakan, literatur ilmiah, dan data pendukung lainnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa IGCC mampu meningkatkan efisiensi pembangkitan listrik hingga 48% dan mengurangi emisi CO₂ sekitar 10% dibanding PLTU konvensional, serta memungkinkan integrasi dengan teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS). Meskipun demikian, penerapannya menghadapi tantangan berupa tingginya biaya investasi, keterbatasan infrastruktur, dan ketidakpastian arah kebijakan. Analisis SWOT dan kerangka ketahanan energi 4A+1S (*Availability, Accessibility, Affordability, Acceptability, dan Sustainability*) menunjukkan bahwa IGCC berpotensi menjadi solusi transisi jangka menengah yang layak, khususnya dalam konteks energi berbasis batubara yang masih dominan di Indonesia. Diperlukan dukungan regulasi yang konsisten, insentif fiskal, dan penguatan kapasitas SDM agar teknologi ini dapat diimplementasikan secara nyata. Dengan pendekatan yang terarah, IGCC dapat menjadi jembatan penting dalam transformasi menuju sistem energi nasional yang lebih bersih, efisien, dan berkelanjutan.

Kata Kunci: IGCC, batubara bersih, transisi energi, ketahanan energi, net zero emission.

1. Pendahuluan

Batubara tetap menjadi sumber energi primer utama di Indonesia dengan kontribusi 40,46% terhadap bauran energi nasional pada 2023 (DEN, 2024). Cadangan batu bara nasional mencapai 38,84 miliar ton pada 2021, yang diperkirakan cukup untuk 83 tahun jika tingkat produksi tetap (Afin & Kiono, 2021). Selain sebagai sumber energi domestik yang melimpah dan murah, batu bara memiliki nilai strategis bagi perekonomian melalui ekspor dan penciptaan lapangan kerja (Octaviani, Nabila, Mayadi, & Saleh, 2025). Target produksi batu bara nasional untuk 2025 ditetapkan dalam kisaran 735-775 juta ton (KESDM, 2021). Angka ini sejalan dengan RPJMN 2025-2029 dan proyeksi RUPTL 2025-2034, meskipun pemerintah telah menetapkan target penghentian PLTU berbasis batu bara secara bertahap hingga 2050-2060 (Do & Burke, 2024). Kebijakan ini didorong oleh komitmen Net Zero Emission 2060, tekanan pasar ekspor, peningkatan pajak karbon di negara tujuan, serta tuntutan domestik untuk mengurangi dampak ekologis dan polusi udara (Reyseliani, Hidayatno, & Purwanto, 2022).

Batubara memiliki kandungan karbon yang tinggi dan menghasilkan polutan seperti CO₂, N₂O, NO_x, SO_x, dan merkuri (Pahlevi, Thamrin, Ahmad, & Nugroho, 2024). Kondisi ini menjadikan sektor pembangkit listrik berbahan bakar batu bara sebagai salah satu kontributor emisi terbesar di Indonesia, baik dalam bentuk emisi karbon maupun emisi polutan lokal yang berdampak langsung pada kesehatan masyarakat dan kualitas udara (Kurniarahma, Laut, & Prasetyanto, 2020). Masalah ini menimbulkan kontroversi di tingkat nasional dan global, terutama terkait urgensi pengurangan penggunaan pembangkit listrik berbahan bakar batu bara atau penghentian bertahap, yang dianggap mengancam keberlangsungan industri batu bara itu sendiri. Meski demikian, batu bara berperan penting dalam ketahanan energi yang mencakup ketersediaan, keterjangkauan, penerimaan sosial, dan keberlanjutan (Mara, Nate, Stavitsky, & Kharlamova, 2022).

Meskipun indikator ketahanan energi nasional 2023 berada pada angka 6,64 dari skala 10, tantangan untuk menekan emisi gas rumah kaca dan menjaga kualitas lingkungan tetap besar (DEN, 2024). Salah satu indikator yang perlu dipertimbangkan dalam hal ini adalah kemampuan negara untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, meningkatkan kualitas lingkungan, dan mengurangi ketergantungan pada impor energi dalam aspek ketersediaan. Menghentikan penggunaan batu bara secara tiba-tiba berisiko mengganggu stabilitas pasokan energi dan perekonomian. Oleh karena itu, strategi yang lebih adaptif adalah mengintegrasikan clean coal technology (CCT) yang rendah emisi sebagai bagian dari transisi menuju bauran energi yang lebih bersih (Li, 2021).

Salah satu teknologi CCT yang paling maju adalah *Integrated Gasification Combined Cycle* (IGCC). Proses gasifikasi mengubah batu bara menjadi gas sintesis (*syngas*) melalui reaksi termokimia seperti pirolisis dan oksidasi parsial, sehingga kontaminan seperti belerang dan merkuri dapat dihilangkan sebelum pembakaran (Febriani, Hanum, Kuncara, & Setyawan, 2024). Sementara itu, *combined cycle* menggabungkan turbin gas dan turbin uap, memanfaatkan panas buang dari turbin gas untuk menghasilkan uap yang menggerakkan turbin uap tambahan, meningkatkan efisiensi termal dan menurunkan konsumsi bahan bakar. Dengan konfigurasi ini, IGCC dapat mencapai efisiensi hingga 46% dan mengurangi emisi CO₂ sekitar 10% dibanding PLTU superkritis (Zaman & Suedy, 2020). Teknologi ini telah diimplementasikan di Amerika Serikat, Jepang, dan Tiongkok sebagai strategi dekarbonisasi bertahap tanpa langsung meninggalkan batu bara (Batorshin, Suchkov, & Tugov, 2023).

Bagi Indonesia yang memiliki cadangan batu bara besar dan infrastruktur PLTU yang masih dominan, IGCC menawarkan peluang sebagai teknologi transisi strategis yang dapat menjaga ketahanan energi dengan tetap memastikan ketersediaan pasokan, keterjangkauan harga, serta pengurangan emisi. Integrasi IGCC dengan teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS) berpotensi memperkuat kontribusinya terhadap target *Net Zero Emission*. Namun, kajian mengenai kelayakan teknis, ekonomi, dan kebijakan IGCC di Indonesia masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau potensi, tantangan, dan peluang penerapan IGCC di Indonesia, dengan mengacu pada praktik internasional dan relevansinya terhadap strategi transisi energi

nasional.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode studi pustaka (literature review). Sumber data diperoleh dari jurnal ilmiah terindeks, laporan resmi pemerintah, kebijakan energi nasional, publikasi lembaga energi internasional, serta dokumen teknis yang kredibel dan relevan. Kriteria pemilihan literatur mencakup: (1) kesesuaian topik dengan teknologi Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) dan ketahanan energi, (2) tingkat kredibilitas dan validitas sumber, dan (3) ketersediaan data teknis yang dapat dibandingkan dengan kondisi Indonesia. Rentang tahun referensi yang digunakan adalah 2019-2025, dengan prioritas pada publikasi terbaru untuk memastikan kesesuaian dengan perkembangan teknologi dan kebijakan terkini.

Analisis dilakukan dengan menelaah aspek ketahanan energi, emisi karbon, serta perkembangan teknologi batubara bersih di tingkat nasional. Untuk menilai posisi strategis IGCC, penelitian ini menggunakan kerangka SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) yang dikembangkan oleh Albert S. Humphrey pada 1960-an sebagai alat analisis faktor internal dan eksternal terhadap keberhasilan strategi energi. Sebagai pelengkap, kajian ini juga ditinjau menggunakan kerangka *Energy Security Framework* yang mencakup empat dimensi utama: *Availability*, *Accessibility*, *Affordability*, dan *Acceptability*, serta satu dimensi tambahan yaitu *Sustainability* (4A + 1S). Framework ini digunakan untuk memastikan bahwa evaluasi IGCC selaras dengan prinsip ketahanan energi nasional secara berkelanjutan. Indikator spesifik dalam kerangka ini merujuk pada parameter resmi dari Dewan Energi Nasional (DEN) sebagaimana pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Indikator Ketahanan Energi

Aspek	Indikator
Ketersediaan (Availability)	Cadangan dan produktivitas energi
	Impor energi
	Cadangan energi nasional
	Komitmen pemenuhan energi dalam negeri
Kemampuan Akses (Accessibility)	Penyediaan dan layanan listrik
	Penyediaan dan layanan bbm
	Penyediaan dan layanan gas bumi dan LPG
Keterjangkauan Harga (Affordability)	Dispersitas harga energi
	Biaya pengeluaran energi terhadap pendapatan
	Subsidi Energi
Ramah Lingkungan (Acceptability)	Porsi EBT dalam bauran energi
	Intensitas energi
	Penurunan emisi karbon sektor energi
	Capaian diversifikasi ke energi bersih

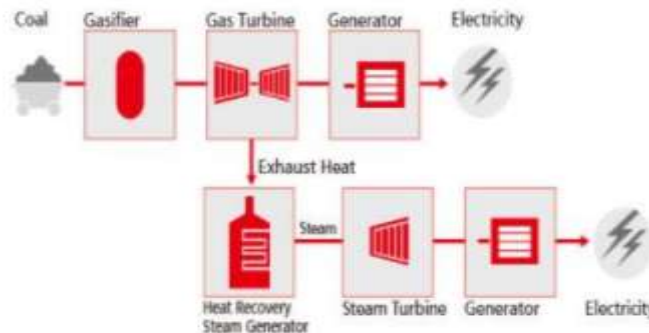
Sumber: DEN (2024)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perbandingan IGCC dengan PLTU Konvensional

IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) adalah teknologi pembangkit listrik yang menggabungkan proses gasifikasi batu bara dengan sistem siklus gabungan antara turbin gas dan turbin uap. Proses utama teknologi ini terletak pada tahap gasifikasi, yang mengubah batu bara padat menjadi gas sintesis yang dapat dibakar (syngas) melalui reaksi termokimia seperti pirolisis dan oksidasi parsial. Gas sintesis yang dihasilkan kemudian melewati tahap pembersihan untuk menghilangkan kontaminan seperti belerang, nitrogen, partikel, dan merkuri sebelum dibakar dalam turbin gas.

Setelah pembakaran dalam turbin gas menghasilkan energi listrik, panas sisa dari gas buang tidak langsung dibuang, melainkan dimanfaatkan kembali melalui sistem Heat Recovery Steam Generator (HRSG) untuk menghasilkan uap yang akan menggerakkan turbin uap. Integrasi kedua siklus ini membuat efisiensi termal IGCC lebih tinggi daripada pembangkit listrik berbahan bakar batu bara konvensional.



Gambar 1. Skema Proses IGCC

Sumber: Zaman & Suedy (2020)

Secara umum, alur kerja IGCC dimulai dari proses gasifikasi batu bara menjadi gas sintesis (syngas) di reaktor gasifier, kemudian gas tersebut dibersihkan dan dibakar di turbin gas untuk menghasilkan listrik. Energi panas dari gas buang turbin gas dimanfaatkan lebih lanjut melalui unit Heat Recovery Steam Generator (HRSG) untuk menghasilkan uap yang menggerakkan turbin uap, menghasilkan listrik tambahan. Kombinasi ini memungkinkan efisiensi yang lebih tinggi dan emisi yang lebih rendah dibandingkan sistem berbasis batu bara konvensional. Perbedaan utama dengan pembangkit listrik batu bara konvensional terdapat pada beberapa aspek, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2 di bawah ini.

3.2 Potensi IGCC di Indonesia

Berdasarkan dokumen Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025-2034, pembangkit listrik berbahan bakar batu bara masih memegang porsi yang signifikan dalam struktur pasokan listrik Indonesia. Hal ini dapat dilihat dari proyeksi komposisi bahan bakar pembangkit listrik dari tahun 2025 hingga 2034 sebagaimana tercantum dalam grafik berikut (gambar 2).



Gambar 2. Grafik Proyeksi Bahan Bakar Listrik

Sumber: Diolah peneliti dari RUPTL PLN 2025-2034 (PLN, 2025)

Berdasarkan grafik pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa batu bara masih menjadi tulang punggung sistem kelistrikan Indonesia hingga tahun 2034, meskipun tren penggunaannya menunjukkan penurunan bertahap dari 66,5% pada tahun 2025 menjadi 47,1% pada tahun 2034. Di sisi lain, energi terbarukan baru (ETB) mengalami peningkatan signifikan dari 13,6% menjadi 29,7% dalam periode yang sama. Meskipun peningkatan energi terbarukan ini sejalan dengan komitmen transisi energi dan target emisi nol bersih (NZE)

pada tahun 2060, porsi batu bara tetap mendominasi untuk dekade mendatang, bahkan pada tahun 2034 masih menyumbang hampir setengah dari total pembangkitan energi. Kondisi ini mencerminkan bahwa ketergantungan pada batu bara tidak dapat dihilangkan dalam waktu dekat. Hal ini menjadikan pengembangan teknologi pembangkit beremisi rendah seperti IGCC sangat krusial dan berpotensi untuk dikembangkan.

Dalam dokumen Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025-2034, pengembangan gasifikasi batu bara secara eksplisit dimasukkan sebagai bagian dari strategi transisi energi nasional. Alih-alih menghilangkan penggunaan batu bara secara total, pemerintah mendorong pendekatan yang lebih adaptif dengan mengolah batu bara menjadi gas sintetis (syngas) yang lebih bersih dan fleksibel untuk membakar pembangkit listrik berbasis turbin gas seperti PLTG dan PLTGU. Langkah ini mencerminkan kesadaran bahwa transisi ke energi bersih tidak dapat dilakukan secara drastis, mengingat ketergantungan Indonesia yang tinggi pada batu bara dan perannya yang sangat penting dalam keamanan energi nasional.

Mendukung pencapaian target Emisi Nol Bersih pada tahun 2060 juga semakin relevan dengan adanya teknologi IGCC. Mengacu pada Tabel 1, IGCC memiliki potensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca secara signifikan, yaitu sekitar 10% lebih rendah dibandingkan PLTU konvensional. Oleh karena itu, IGCC berpotensi menjadi jembatan transisi energi yang memungkinkan batu bara tetap dimanfaatkan secara lebih bersih dengan teknologi penangkapan karbon (CCS), sejalan dengan upaya mengurangi intensitas emisi nasional di sektor energi.

Selain itu, sistem teknologi IGCC memiliki kesamaan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) yang telah luas diterapkan di Indonesia, terutama dalam hal penggunaan sistem kombinasi turbin gas dan turbin uap yang terintegrasi. Salah satu komponen utama dalam keduanya adalah Heat Recovery Steam Generator (HRSG), sistem yang memanfaatkan panas sisa dari turbin gas untuk menghasilkan uap yang akan menggerakkan turbin uap tambahan. Efisiensi termal yang tinggi ini merupakan salah satu keunggulan siklus gabungan yang juga diterapkan pada IGCC. Kesesuaian sistem dan infrastruktur ini membuka peluang bahwa Indonesia secara teknis memiliki dasar teknologi yang dekat dengan IGCC.

3.3 Tantangan Implementasi IGCC

Meskipun teknologi IGCC menawarkan potensi signifikan dalam mengurangi emisi dan meningkatkan efisiensi pembangkit listrik berbahan bakar batu bara, implementasinya di Indonesia masih menghadapi tantangan serius, terutama dari segi ekonomi. Salah satu hambatan utama adalah biaya investasi yang tinggi. Berdasarkan data terbaru, biaya pembangunan unit IGCC berkisar antara USD 1.100 hingga USD 2.860 per kW, jauh lebih tinggi daripada biaya pembangunan pembangkit listrik konvensional. Biaya awal yang tinggi ini menjadi pertimbangan utama bagi pengembang dan pemangku kepentingan yang masih berhati-hati dalam berinvestasi pada proyek batu bara bersih.

Untuk memberikan gambaran yang lebih rinci, Tabel 2 menunjukkan perbandingan biaya antara IGCC tanpa sistem penangkapan karbon (CCS) dan dengan CCS pada berbagai kapasitas penangkapan.

Tabel 2. Biaya IGCC

	PLTU Konvensional	IGCC tanpa CCS	IGCC dengan CCS (90%)
Investasi Awal (\$/kW)	1280	1954	2646
Biaya tetap (\$/MW)	1,6	4,32	5,40
Biaya Variabel (\$/kW)	6	6,77	8,72

Sumber: Diolah Peneliti dari RUPTL PLN 2025-2034 (PLN, 2025)

Berdasarkan data pada Tabel 2, biaya konstruksi pembangkit listrik uap konvensional hanya sekitar USD 1.280 per kW, sementara IGCC tanpa sistem penangkapan karbon (CCS) mencapai USD 1.954 per kW, dan melonjak menjadi USD 2.646 per kW ketika dilengkapi dengan CCS sebesar 90%. Tidak hanya dalam biaya konstruksi, perbedaan juga terlihat jelas dalam biaya operasional. Pembangkit listrik konvensional memiliki biaya operasional tetap sebesar USD 1,6 per MWh, sementara IGCC tanpa CCS memerlukan USD 4,32 per MWh dan meningkat menjadi USD 5,40 per MWh dengan CCS.

Perbedaan ini berarti beban investasi awal IGCC dapat lebih dari dua kali lipat dibandingkan pembangkit konvensional, sehingga kurang menarik bagi investor yang cenderung mencari proyek dengan modal awal rendah dan pengembalian cepat. Biaya tinggi ini merupakan alasan utama mengapa investor masih ragu terhadap pengembangan IGCC, terutama dalam situasi di mana tren global cenderung mengutamakan energi terbarukan baru (NRE) yang kini semakin kompetitif secara biaya. Ketidakpastian mengenai pengembalian investasi, risiko aset terlantar, dan ketidakcocokan dengan arah kebijakan energi global.

Selain itu, kurangnya dukungan kebijakan yang tegas dan ketidakjelasan arah transisi energi dalam dokumen perencanaan nasional seperti RUPTL 2025-2034 juga memperburuk sentimen pasar. Ketika dokumen perencanaan masih memberikan ruang untuk pembangunan pembangkit listrik berbahan bakar fosil, termasuk batu bara, pesan yang diterima oleh investor menjadi ambigu dan bertentangan dengan narasi dekarbonisasi. Dalam konteks ini, pengembangan IGCC, meskipun secara teknis menjanjikan efisiensi dan pengurangan emisi, masih menghadapi tantangan struktural berupa kurangnya insentif fiskal, ketidakhadiran jaminan perjanjian pembelian listrik jangka panjang, dan risiko kebijakan yang dapat berubah kapan saja.

3.4 Analisis SWOT Implementasi IGCC di Indonesia

Sebagai salah satu teknologi batu bara bersih yang menjanjikan, implementasi Teknologi Siklus Gabungan Gasifikasi Terpadu (IGCC) di Indonesia perlu diteliti secara mendalam, tidak hanya dari perspektif teknis dan lingkungan, tetapi juga dari perspektif strategis. Untuk memahami potensi implementasinya secara lebih komprehensif, analisis SWOT digunakan untuk mengidentifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang melekat pada teknologi ini. Berikut ini menyajikan matriks SWOT teknologi IGCC dalam potensinya untuk diterapkan di Indonesia:

Tabel 3. Matriks SWOT Penerapan IGCC di Indonesia

Kekuatan	Kelemahan
• Efisiensi tinggi: mencapai 45-48% (lebih tinggi dari PLTU konvensional) • Emisi CO₂, SO₂, NO_x, dan partikel lebih rendah • Memungkinkan pemanfaatan batubara kalori rendah yang banyak tersedia di Indonesia. • Teknologi cocok untuk fase transisi energi sebelum dominasi EBT.	• Biaya investasi awal sangat tinggi: bisa lebih dari 2x lipat PLTU biasa • Masih terbatasnya infrastruktur dan SDM yang menguasai teknologi IGCC. • Risiko stranded asset tinggi jika transisi EBT berlangsung lebih cepat.
Peluang	Ancaman
• Dapat dipadukan dengan teknologi Carbon Capture Storage (CCS) • Termasuk dalam roadmap batubara KESDM (2021–2045), dengan target implementasi pada 2030. • Sudah diterapkan di negara maju seperti AS, Jepang, dan Tiongkok • Sistem kerja mirip PLTGU	• RUPTL 2025-2034 masih dinilai ambigu dan inkonsisten dengan target NZE 2060, memunculkan ketidakpastian bagi investor. • Tren global semakin menjauhi batubara, investor dan lembaga keuangan enggan mendanai proyek berbasis fosil. • Risiko lock-in investment tinggi

Sumber: Diolah oleh Peneliti (2025)

Matrix SWOT yang dipaparkan dalam tabel 4 mencerminkan posisi strategis teknologi IGCC dalam lanskap transisi energi nasional Indonesia. Dari sisi keunggulan, IGCC mampu menawarkan efisiensi pembangkitan listrik yang lebih tinggi dibandingkan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) konvensional, dengan tingkat emisi yang lebih rendah, baik dalam bentuk karbon dioksida (CO₂) maupun polutan lain seperti sulfur dioksida (SO₂) dan partikel halus. Efisiensi termal yang lebih tinggi ini, dikombinasikan dengan kemampuan untuk memanfaatkan batubara berkalori rendah yang merupakan jenis paling melimpah di Indonesia membuat IGCC menjadi opsi yang relevan dalam konteks energi domestik. Terlebih lagi, IGCC dinilai cocok dengan fase transisi energi yang dijalani Indonesia saat ini, karena mampu menjembatani kebutuhan akan pasokan energi yang stabil dengan tuntutan pengurangan intensitas emisi, tanpa menunggu kesiapan infrastruktur energi terbarukan secara penuh.

Namun demikian, sejumlah tantangan serius tetap menjadi pertimbangan utama dalam upaya implementasi IGCC secara luas. Biaya investasi awal yang sangat tinggi menjadi kendala paling dominan, di samping keterbatasan infrastruktur pendukung dan minimnya sumber daya manusia yang menguasai teknologi ini. Di luar persoalan teknis dan ekonomi, terdapat pula hambatan pada level kebijakan dan kepercayaan pasar. Dalam konteks global yang semakin menjauhi proyek berbasis batubara, kehadiran IGCC sering kali dipandang skeptis oleh investor dan lembaga pendanaan internasional. Risiko keuangan jangka panjang seperti lock-in investment yakni penguncian modal pada infrastruktur yang tidak fleksibel terhadap perkembangan teknologi serta potensi stranded assets, di mana aset pembangkit tidak lagi ekonomis di masa depan, menjadi momok yang membuat pelaku usaha enggan melangkah lebih jauh.

Secara politis, posisi IGCC berada dalam wilayah abu-abu. Di satu sisi, pemerintah Indonesia melalui roadmap batubara dan dokumen RUPTL telah membuka ruang bagi teknologi ini, bahkan menetapkan target implementasi pada 2030. Hal ini menunjukkan bahwa negara memiliki niat untuk mengakomodasi solusi transisi yang berbasis batubara bersih. Namun di sisi lain, komitmen terhadap pengurangan emisi dan transisi menuju energi terbarukan dalam dokumen perencanaan sering kali tidak konsisten, atau bahkan ambigu, terutama ketika proyek PLTU eksisting tetap dilanjutkan. Ambiguitas kebijakan ini menimbulkan keraguan di mata publik dan pasar, serta menyulitkan pemerintah dalam menyampaikan pesan yang jelas dan kredibel terkait arah kebijakan energi nasional.

Meski demikian, peluang bagi IGCC tetap terbuka, terutama bila pemerintah mampu memperkuat kerangka regulasi yang mendorong integrasi teknologi ini dengan sistem pengelolaan karbon seperti *Carbon Capture and Storage* (CCS). Selain itu, fakta bahwa IGCC telah diadopsi oleh negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Jepang, dan Tiongkok menunjukkan bahwa teknologi ini bukan lagi bersifat eksperimental, melainkan dapat dijadikan acuan dalam menciptakan sistem pembangkitan batubara yang lebih bersih. Dengan dukungan perencanaan yang matang, insentif fiskal yang menarik, dan keberanian politik untuk menjaga arah transisi energi secara konsisten, IGCC masih berpeluang besar untuk berkontribusi sebagai solusi antara *intermediate solution* dalam memperkuat ketahanan energi nasional sembari menavigasi tantangan dekarbonisasi.

3.5 *Energy Security Framework Implementasi IGCC di Indonesia*

Implementasi teknologi *Integrated Gasification Combined Cycle* (IGCC) perlu dilihat melalui lensa ketahanan energi nasional dengan kerangka 4A+1S yang tidak hanya menguji kelayakan teknologi dari sisi teknis dan ekonomi, tetapi juga mempertimbangkan integrasi sosial, kebijakan, dan keberlanjutan lingkungan.

Availability, sebagai aspek pertama dalam kerangka ketahanan energi, menyoroti pentingnya ketersediaan energi dalam jumlah yang cukup dan stabil. Indonesia memiliki cadangan batubara melimpah, terutama batubara kalori rendah yang sangat cocok digunakan dalam sistem IGCC. Teknologi ini memungkinkan optimalisasi pemanfaatan cadangan tersebut dengan efisiensi tinggi, mencapai 45–48%, serta mampu mengurangi konsumsi batubara harian hingga 10% dibanding PLTU konvensional. Dengan demikian, IGCC berkontribusi dalam menjaga ketahanan pasokan domestik tanpa perlu bergantung pada impor energi, memperkuat komitmen pemenuhan kebutuhan energi nasional secara mandiri.

Pada aspek *Accessibility*, IGCC juga menawarkan peluang signifikan. Meskipun saat ini infrastruktur pendukung seperti jaringan gasifikasi dan sistem syngas cleaning belum tersedia secara luas, Indonesia telah memiliki basis pembangkit gas dan uap (PLTGU) yang secara teknologi serupa dalam konfigurasi turbin dan sistem HRSG. Hal ini menjadi modal awal untuk mempermudah integrasi IGCC dalam sistem kelistrikan nasional. Namun, perlu dicatat bahwa pengembangan lebih lanjut tetap membutuhkan penyesuaian besar dari sisi teknis, pelatihan SDM, dan investasi infrastruktur baru. Dengan sinergi yang tepat, IGCC dapat memperluas akses terhadap energi bersih berbasis batu bara, khususnya di wilayah dengan akses listrik yang belum optimal.

Dari segi *Affordability*, tantangan utama IGCC terletak pada biaya investasi awal dan biaya operasional yang jauh lebih tinggi dibanding pembangkit konvensional. Berdasarkan data, pembangunan IGCC tanpa CCS menelan biaya sekitar USD 1.954 per kW, bahkan melonjak menjadi USD 2.646 per kW jika dilengkapi CCS. Tingginya biaya ini berpotensi meningkatkan disparitas harga energi, terutama jika tidak disertai kebijakan subsidi atau skema tarif insentif. Tanpa intervensi fiskal yang kuat, pengembangan IGCC hanya akan menarik bagi wilayah tertentu atau segmen industri besar, sementara akses masyarakat umum

terhadap listrik terjangkau akan tetap terbatas. Oleh karena itu, aspek keterjangkauan menjadi kunci krusial dalam menilai keberlanjutan implementasi IGCC secara merata.

Aspek *Acceptability* mencakup penerimaan sosial dan kepatuhan lingkungan terhadap teknologi yang digunakan. Dalam hal ini, IGCC menampilkan keunggulan signifikan dibanding PLTU konvensional, terutama dalam hal pengurangan emisi gas rumah kaca dan polutan lokal seperti SO₂, NO_x, dan partikulat. Teknologi gasifikasi juga memungkinkan pemanfaatan produk samping (seperti slag dan sulfur) yang memiliki nilai ekonomi. Namun, kendala terbesar dari sisi *acceptability* adalah persepsi publik terhadap batu bara itu sendiri. Meskipun IGCC lebih bersih, fakta bahwa teknologi ini tetap berbasis batubara kerap memicu penolakan dari kelompok masyarakat sipil dan pemerhati lingkungan. Pemerintah perlu membangun narasi yang tepat bahwa IGCC bukan langkah mundur, melainkan solusi jangka menengah dalam transisi energi yang realistis.

Terakhir, dari aspek *Sustainability*, IGCC memiliki potensi untuk berkontribusi terhadap transisi energi yang berkelanjutan, terutama bila dipadukan dengan teknologi Carbon Capture and Storage (CCS). Pengurangan emisi CO₂ sekitar 10% dibanding PLTU konvensional menunjukkan bahwa IGCC mampu menurunkan intensitas karbon sektor energi tanpa mengorbankan pasokan energi nasional. Namun demikian, risiko keberlanjutan muncul dalam bentuk lock-in investment terhadap teknologi berbasis fosil, yang bisa menjadi stranded assets di masa depan apabila arah transisi energi berubah secara cepat ke energi terbarukan penuh. Maka dari itu, pendekatan keberlanjutan implementasi IGCC harus bersifat dinamis, dengan perencanaan matang, pengawasan ketat, dan skenario keluar (*exit strategy*) yang jelas apabila pengembangan teknologi energi bersih non-fosil menjadi lebih dominan dalam bauran energi nasional.

4. Kesimpulan

Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) memiliki potensi strategis sebagai solusi transisi menuju sistem energi rendah emisi yang tetap mempertahankan stabilitas pasokan nasional. Analisis SWOT menunjukkan bahwa IGCC unggul dari sisi efisiensi dan pengurangan emisi, serta kompatibel dengan karakteristik batubara kalori rendah yang melimpah di Indonesia, namun dibayangi oleh tingginya biaya investasi, keterbatasan infrastruktur, dan minimnya SDM yang kompeten. Dari sisi kebijakan, pemerintah telah memberikan sinyal dukungan melalui Roadmap Batubara 2021-2045 dan RUPTL 2025-2034, tetapi komitmen tersebut belum sepenuhnya konsisten atau diwujudkan dalam bentuk proyek konkret dan insentif fiskal yang memadai. Hambatan lain seperti ketidakpastian arah kebijakan energi, risiko stranded asset, serta resistensi pasar global terhadap proyek berbasis batubara semakin memperumit jalur adopsi teknologi ini. Namun, ketika dianalisis dengan pendekatan *Energy Security Framework* 4A+1S, IGCC tetap memiliki prospek layak untuk dikembangkan sebagai teknologi antara (*intermediate solution*) yang menjawab tantangan ketahanan energi jangka menengah, asalkan diiringi oleh keberpihakan regulasi yang tegas, skema pembiayaan yang inovatif, serta narasi transisi yang kredibel di hadapan publik dan investor.

Bibliografi

- Afin, A. P., & Kiono, B. F. T. (2021). Potensi energi batubara serta pemanfaatan dan teknologinya di Indonesia tahun 2020–2050: gasifikasi batubara. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(2), 122–144.
- Batorshin, V. A., Suchkov, S. I., & Tugov, A. N. (2023). Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Units: History, State-of-the Art, Development Prospects. *Thermal Engineering*, 70(6), 418–429.
- DEN. (2024). *Laporan Kinerja Dewan Energi Nasional 2023*. Jakarta.
- Do, T. N., & Burke, P. J. (2024). Phasing out coal power in two major Southeast Asian thermal coal economies: Indonesia and Vietnam. *Energy for Sustainable Development*, 80, 101451.
- Febriani, A. V., Hanum, F. F., Kuncara, J., & Setyawan, M. (2024). Optimalisasi Mutu Batubara Indonesia: Kajian Metode dan Potensi dalam Peningkatan Nilai Kalor Batubara. *Eksergi*, 21(2), 70–76.
- Fitri, M., & Zahar, W. (2019). Kebijakan sektor industri pertambangan Indonesia dalam revolusi industri 4.0. *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI*, 1(1), 833–846.
- KESDM. (2021). *Road Map Pengembangan dan Pemanfaatan Batubara 2021-2045*. Jakarta.
- Kurniarahma, L., Laut, L. T., & Prasetyanto, P. K. (2020). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi emisi CO₂ di Indonesia. *DINAMIC: Directory Journal of Economic*, 2(2), 368–385.

- Li, Q. (2021). The view of technological innovation in coal industry under the vision of carbon neutralization. *International Journal of Coal Science & Technology*, 8(6), 1197–1207.
- Mara, D., Nate, S., Stavytsky, A., & Kharlamova, G. (2022). The place of energy security in the national security framework: an assessment approach. *Energies*, 15(2), 658.
- Octaviani, A. V., Nabila, A., Mayadi, F., & Saleh, M. Z. (2025). Pembatasan Kebijakan Ekspor Batu Bara Bagi Perekonomian Indonesia. *Journal of Management And Creative Business*, 3(1), 100–108.
- Pahlevi, R., Thamrin, S., Ahmad, I., & Nugroho, F. B. (2024). Masa depan pemanfaatan batubara sebagai sumber energi di indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(2), 50–60.
- PLN. (2025). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025-2034*. Jakarta.
- Reyseliani, N., Hidayatno, A., & Purwanto, W. W. (2022). Implication of the Paris agreement target on Indonesia electricity sector transition to 2050 using TIMES model. *Energy Policy*, 169, 113184.
- Riyanto, S. (2021). 10_Buku Analisis SWOT. Bintang Pustaka Madani.
- Triani, M., Anggoro, D. D., & Yunianto, V. D. (2024). Potensi dekarbonisasi pembangkit listrik batubara melalui cofiring biomassa dan carbon capture utilization. *Metana*, 20(1), 57–68.
- Zaman, M. R., & Suedy, S. W. A. (2020). Pemanfaatan Batubara Kalori Rendah pada IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle). *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(1), 35–44.
- Zhao, Y., Duan, Y., Liu, Q., Cui, Y., Mohamed, U., Zhang, Y., ... Shi, L. (2021). Life cycle energy-economy-environmental evaluation of coal-based CLC power plant vs. IGCC, USC and oxy-combustion power plants with/without CO₂ capture. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106121.