

ANALISIS STRATEGI INOVASI TEKNOLOGI DAN PEMBIAYAAN HIJAU DALAM TRANSISI RENDAH KARBON: STUDI KASUS PT SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk

T. Handono Eko Prabowo

Universitas Sanata Dharma
Jln. Affandi, Mrican, Tromolpos 29, Depok, Sleman, DIY
E-mail: thep_phd@usd.ac.id

Abstract: Driven by the heavy environmental footprint of clinkerization, the cement sector is under profound pressure to pivot toward low-carbon operational models. This paper examines the technological adaptation and operational responsiveness of PT Semen Indonesia (Persero) Tbk (SIG) under the dual impact of Indonesia's Carbon Economic Value mandate (Perpres 110/2025) and the EU's Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). By executing an empirical emission audit on verified 2025 Sustainability Reports coupled with predictive scenario modeling, the study delineates carbon gaps and their financial repercussions. The empirical audit reveals a real emission intensity of 618 kg CO₂/ton of cement (Scope 1: 561 kg; Scope 2: 57 kg). When evaluated against the stringent CBAM threshold of 42 kg CO₂/ton of cement, a substantial excess of 576 kg CO₂/ton of cement emerges, thereby imposing cross-border fiscal liabilities on exported materials. Unmitigated operations at the current output of 30.14 million tons could subject the enterprise to domestic carbon penalties totaling IDR 521.3 billion. Nevertheless, the firm's near-term SBTi-aligned target to slash emissions by 33.7% by 2032 is actively backed by RDF deployment (achieving a 9.77% TSR) and the co-processing of 2.2 million tons of alternative waste. Ultimately, this research advocates for channeling decarbonization initiatives into activity-based green financing frameworks that comply with TKBI Version 2 and POJK 30/2025, capitalizing on the entity's prominent standing within the IDX ESG Leaders index.

Keywords: *Technological Innovation, Cement Decarbonization, Carbon Tax, CBAM, Green Financing, PT Semen Indonesia.*

Konstrain struktural yang masif kini membayangi industri semen global seiring dengan desakan migrasi menuju pola ekonomi rendah karbon. Sifat operasional manufaktur semen yang sangat bergantung pada karbon menyebabkannya dikelompokkan ke dalam kategori *hard-to-abate sector*. Pada sektor ini, selain akibat eksploitasi batu bara sebagai sumber energi primer, pelepasan gas karbondioksida terbesar sejatinya bersumber dari proses intrinsik dekarbonisasi batu kapur (*limestone*) dalam pembentukan klinker di temperatur ekstrem. Di era modern, pematuhan terhadap batas atas emisi telah bergeser peran, tidak lagi sekadar pemenuhan tanggung jawab sosial, melainkan menjadi faktor penentu utama dalam memelihara keunggulan kompetitif di pasar global sekaligus menjaga kepercayaan investor internasional.

Di ranah domestik, peta regulasi mengalami pergeseran pasca-

diberlakukannya Peraturan Presiden Nomor 110 Tahun 2025 terkait Penyelenggaraan Instrumen Nilai Ekonomi Karbon (NEK). Melalui skema Persetujuan Teknis Batas Atas Emisi bagi Pelaku Usaha (PTBAE-PU), kebijakan ini secara yuridis memaksa pelaku industri memasukkan beban eksternalitas lingkungan ke dalam komponen biaya operasional mereka. Konsekuensinya, kelebihan emisi di atas batas kuota resmi akan langsung dikonversi menjadi kewajiban finansial korporasi (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2025). Pada saat yang sama, Uni Eropa memperkenalkan *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM) sebagai instrumen proteksi fiskal berupa tarif karbon lintas batas. Sistem ini mewajibkan komoditas impor dengan intensitas karbon tinggi untuk menyamakan profil emisinya dengan standar manufaktur di Eropa (European Commission, 2024). Langkah

unilateral ini diprediksi membawa guncangan ekonomi makro yang nyata bagi kinerja ekspor negara berkembang, sebuah fenomena tekanan tarif yang dampaknya sudah mulai dirasakan oleh negara eksportir seperti Vietnam (Chu et al., 2024).

Bagi PT Semen Indonesia (Persero) Tbk (SIG) yang memegang posisi sebagai produsen semen plat merah terbesar di tanah air, tekanan ganda dari regulasi tersebut memengaruhi stabilitas tata kelola biaya operasional, perluasan pangsa pasar ekspor, hingga restrukturisasi manajemen risiko di mata pemodal global berbasis kriteria *Environmental, Social, and Governance* (ESG). Konteks ini menjadi kian mendesak akibat bayang-bayang kejenuhan pasar domestik (*oversupply*), di mana angka utilisasi kapasitas produksi di level nasional masih stagnan pada kisaran 65% hingga 70% (PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, 2026). Jika denda emisi global sampai menghambat aktivitas ekspor, stabilitas niaga komoditas dipastikan terganggu disertai kemunduran daya saing manufaktur domestik (Fitriyah, 2026; Wirdyansyah & Danial, 2025). Guna memitigasi risiko tersebut, penyusunan cetak biru inovasi teknologi (*Green Tech Roadmap*) yang terkoneksi langsung secara koheren dengan skema pendanaan hijau berkelanjutan.

Walau riset-riset terdahulu telah banyak mengulas aspek efisiensi teknis pada pabrik semen nasional (Hendrawan & Putra, 2021) ataupun mengkaji dampak teoretis instrumen CBAM bagi perekonomian Indonesia (Fitriyah, 2026; Wirdyansyah & Danial, 2025), telaah yang mensinergikan audit emisi riil tingkat perusahaan dengan kalkulasi liabilitas keuangan berdasar pada payung hukum Perpres 110/2025 dan POJK 30/2025 masih nihil. Mayoritas kajian ilmiah sejauh ini masih bertumpu pada skala makro atau pemodelan laboratorium yang terpisah dari realitas kepatuhan hukum industri hulu.

Di sinilah letak orisinalitas (*novelty*) riset ini, yang menawarkan metode hibrida interdisipliner baru melalui keterhubungan simultan antara empat pilar strategis. Pertama, pelaksanaan audit emisi *Scope 1* dan *Scope 2*

berdasarkan data laporan keberlanjutan perseroan terbaru yang mengantongi *external assurance*. Kedua, penerapan akuntansi biaya lingkungan dengan teknik *avoided cost analysis* untuk memproyeksikan efisiensi finansial dari regulasi NEK serta CBAM. Ketiga, penelaahan aspek yuridis tata negara terkait operasionalisasi Perpres 110/2025 di lapangan. Keempat, formulasi struktur pendanaan hijau (*green financing*) berbasis aktivitas terfragmentasi yang patuh pada Taksonomi Keberlanjutan Indonesia (TKBI) Versi 2. Lewat kerangka komprehensif ini, riset ini memperkaya literatur manajemen keberlanjutan pada sektor industri berat (*hard-to-abate*) sekaligus menyajikan panduan taktis bagi jajaran manajemen emiten dan pelaku pasar modal memetakan risiko transisi iklim.

METODE

Kerangka metodologi penelitian ini bersandar pada analisis deskriptif-kuantitatif yang diintegrasikan dengan pendekatan simulatif-komparatif. Dalam memetakan metrik sirkular, volume output produksi, beserta basis data emisi, studi ini memanfaatkan rekam jejak operasional riil yang terdokumentasi dalam Laporan Keberlanjutan (*Sustainability Report*) SIG 2025. Guna menjamin derajat keabsahan data (*data authenticity*) yang tinggi, dokumen korporat tersebut telah melalui proses verifikasi *independent external assurance* oleh PT Sucofindo dengan mengacu pada standar global ISAE3000 serta AA1000AS V3. Selanjutnya, guna mereplikasi kalkulasi kuantitatif atas konsekuensi finansial dari kebijakan terkait, sejumlah indikator makroekonomi dan parameter eksternal diaplikasikan (Tabel 1):

Tabel 1: Matriks Indikator dan Dasar Acuan Parameter Regulasi

Komponen Evaluasi	Batas Nilai / Konsensus Regulasi
Ambang Batas Emisi Eropa (CBAM)	42 kg CO ₂ /ton semen (Plafon Maksimum Uni Eropa) (European Commission, 2024)

Instrumen Fiskal Karbon Domestik (NEK)	Rp30.000/ton CO ₂ (Proyeksi Pungutan Pajak Karbon Nasional) (Kementerian LHK, 2025)
Penalti Karbon Internasional (CBAM)	EUR 80/ton CO ₂ excess (Proyeksi Skema Kebijakan Finansial Global)

Untuk memetakan kalkulasi risiko keuangan yang dihadapi oleh korporasi secara terukur, pemodelan matematis formal diwujudkan melalui formulasi di bawah ini:

- 1) Formulasi Risiko Finansial Fiskal Domestik (NEK). Kewajiban finansial atas kelebihan batas atas pelepasan emisi di tingkat nasional dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$L_{NEK} = (I_{aktual} - Q_{PTBAE}) \times V_{produksi} \times T_{pajak}$$

- 2) Formulasi Eksposur Bea Karbon Pasar Global (CBAM). Konsekuensi penalti keuangan atas komoditas semen yang memasuki pasar Uni Eropa diformulasikan lewat persamaan berikut:

$$L_{CBAM} = (I_{SIG} - I_{CBAM}) \times V_{ekspor} \times T_{CBAM}$$

Komponen notasi variabel - untuk menjaga akuntabilitas model, penjelasan variabel di atas didefinisikan sebagai berikut:

- a) L_{NEK} : Total Liabilitas Pajak Karbon Domestik (NEK)
- b) I_{aktual} : Intensitas pelepasan karbon aktual secara menyeluruh
- c) Q_{PTBAE} : Alokasi pagu kuota emisi resmi berdasarkan skema PTBAE-PU
- d) $V_{produksi}$: Total volume manufaktur semen yang diproduksi
- e) T_{pajak} : Ketetapan tarif pajak karbon yang berlaku
- f) L_{CBAM} : Total Liabilitas Tarif Ekspor CBAM Uni Eropa
- g) I_{SIG} : Nilai intensitas emisi intrinsik dari produk semen perusahaan
- h) I_{CBAM} : Batas toleransi kandungan karbon yang ditetapkan pasar Eropa
- i) V_{ekspor} : Agregat volume komoditas yang dikirim ke pasar internasional

- j) T_{CBAM} : Nilai tukar tarif penalti karbon per ton bursa komoditas Eropa

Lebih lanjut, rekonstruksi skenario untuk inovasi teknologi dipetakan ke dalam tiga *horizon* waktu strategis. Simulasi kontekstual tersebut disusun dengan mengacu pada target dekarbonisasi mandiri korporasi yang dikomparasikan terhadap komitmen transisi iklim batas suhu 1,5⁰ C berdasarkan kerangka tata kelola global *Science Based Targets initiative* (SBTi, 2024).

HASIL

Telaah Capaian Intensitas Emisi Riil Perusahaan. Pemetaan profil distribusional atas intensitas emisi karbon aktual korporasi dilakukan secara sistematis yaitu dengan memisahkan cakupan operasional domestik dan regional. Melalui evaluasi kuantitatif terhadap rekam jejak operasional empiris yang diekstraksi dari laporan keberlanjutan emiten, diperoleh gambaran komparatif mengenai beban emisi perusahaan. Merujuk pada kompilasi data yang disajikan dalam Tabel 2, rincian mengenai elemen-elemen penyusun intensitas emisi aktual SIG dapat dijabarkan di bawah ini:

Tabel 2: Distribusi Metrik Intensitas Emisi Riil SIG Periode 2025

Cakupan Emisi Operasional	Estimasi Aktual Domestik	Estimasi Aktual Regional
Scope 1 (Pelepasan Emisi Langsung)	561 kg CO ₂ /ton semen eq.	560 kg CO ₂ /ton semen eq.
Scope 2 (Konsumsi Listrik Tidak Langsung)	57 kg CO ₂ /ton semen eq.	-
Aglomerasi Intensitas Emisi Korporasi	618 kg CO ₂ /ton semen eq.	-

Berdasarkan paparan data di atas, kalkulasi emisi langsung (*Scope 1*) pada wilayah operasional dalam negeri

menyentuh angka 561 kg CO₂/ton semen ekuivalen. Angka tersebut menunjukkan konsistensi yang cukup dekat dengan capaian di *level* regional yang mencatatkan intensitas sebesar 560 kg CO₂/ton semen ekuivalen. Di sisi lain, beban emisi sekunder yang berasal dari pasokan listrik eksternal (*Scope 2*) untuk menunjang fasilitas pabrik domestik berada di posisi 57 kg CO₂/ton semen ekuivalen. Jika kedua parameter domestik tersebut digabungkan, maka total beban intensitas emisi riil yang diproduksi oleh korporasi secara agregat adalah sebesar 618 kg CO₂/ton semen ekuivalen.

Komparasi Defisit Emisi terhadap Regulasi CBAM Uni Eropa. Guna menakar kesiapan ekspansi pasar global serta kepatuhan terhadap regulasi internasional, studi ini melakukan komparasi analitis antara akumulasi intensitas emisi riil perusahaan dengan plafon batas atas rendah karbon yang diwajibkan oleh pasar Uni Eropa. Mengacu pada kalkulasi skenario dalam Matriks Analisis Kesenjangan Emisi SIG, diperoleh beberapa temuan empiris sebagai berikut:

Tabel 3: Matriks Deviasi Intensitas Emisi Korporat Terhadap Standar CBAM

Parameter Evaluasi Kesenjangan	Output Penghitungan Empiris
Total Intensitas Aktual Korporasi (<i>Scope 1</i> dan <i>Scope 2</i>)	618 kg CO ₂ /ton semen ekuivalen
Batas Toleransi Rendah Karbon CBAM (European Commission, 2024)	42 kg CO ₂ /ton semen ekuivalen
Surplus Intensitas Risiko Fiskal (<i>Excess Intensity</i>)	576 kg CO ₂ /ton semen ekuivalen

Berdasarkan hasil pengujian matriks di atas, potret emisi awal (*baseline*) perusahaan berada pada angka 618 kg CO₂/ton semen ekuivalen. Nilai ini kemudian dihadapkan pada regulasi global pasar Eropa

yang menetapkan batas toleransi produk rendah karbon tanpa penalti sebesar 42 kg CO₂/ton semen ekuivalen. Melalui pengurangan matematis antara intensitas emisi riil dengan batas acuan tersebut, ditemukan adanya lonjakan intensitas emisi yang sangat masif (*excess intensity*), yakni sebesar 576 kg CO₂/ton semen ekuivalen. Margin surplus sebesar 576 kg inilah yang secara langsung bertransformasi menjadi basis utama pemicu liabilitas denda serta pengenaan tarif bea masuk material pelabuhan tujuan Uni Eropa.

Proyeksi Risiko Keuangan Domestik dan Tarif Ekspor Lintas Batas menggunakan basis data kapasitas *output* riil semen domestik perusahaan sebesar 30.145.655 ton, studi ini mensimulasikan pemodelan matematis untuk memetakan eksposur risiko keuangan di bawah tiga kondisi yang berbeda. Gambaran mengenai hasil proyeksi finansial strategis tersebut dijabarkan melalui arsitektur matriks (Tabel 4) di bawah ini:

Tabel 4: Proyeksi Konsekuensi Finansial Antara Pajak Karbon Domestik (NEK) dan Regulasi CBAM

Elemen Implikasi Keuangan	Skenario Kondisi Riil (Tanpa Inovasi)	Skenario Efisiensi Transisi (Jangka Pendek-Menengah)	Skenario Jangka Panjang (Aplikasi CCUS Ideal)
Estimasi Beban Fiskal Pajak Karbon Domestik	Mencapai Rp521,3 Miliar akibat volume emisi melampaui batas kuota operasional	Penurunan beban fiskal secara proporsional seiring perbaikan intensitas emisi.	Rp 0 (Nilai akumulasi intensitas berada di bawah batas atas kuota resmi).
Eksposur Pembebanan CBAM Eropa	Pengenaan tarif penuh atas kelebihan emisi sebesar 576 kg CO ₂ /ton semen.	Liabilitas tarif CBAM menyusut hingga menyentuh <i>level</i> kompensasi EUR 22,68	EUR 0 (Kandungan karbon produk sepenuhnya di bawah batas acuan <i>global</i>).

		per ton semen.	
Analisis Kinerja Keuangan (<i>avoided cost</i>)	Beban dari liabilitas eksternal secara agresif menggerus profitabilit as bersih emiten.	Terjadi penghemata n belanja energi operasional sekaligus pembatasan denda finansial.	Akselerasi nilai ekonomi jangka panjang yang maksimal lewat penciptaan <i>avoided cost</i>

Rekonstruksi Narasi Skenario Finansial - Analisis Komparatif Skenario Keuangan *Multihorizon*:

1. Proyeksi Skenario Riil Tanpa Intervensi Inovasi. Apabila sebuah perusahaan mempertahankan pola operasional lama tanpa adanya tindakan reduksi emisi, konsekuensi fiskal domestik melalui skema NEK diprediksi memicu beban pajak karbon hingga Rp521,3 Miliar. Sementara di pasar *global*, komoditas ekspor perusahaan harus menghadapi pengenaan tarif penuh atas seluruh surplus kandungan emisi sebesar 576 kg CO₂/ton semen. Dari sudut pandang akuntansi manajemen, kondisi ini memberikan tekanan negatif yang parah akibat lonjakan liabilitas eksternal yang menggerus langsung profitabilitas bersih perseroan.
2. Proyeksi Skenario Efisiensi Transisi Jangka Pendek-Menengah. Melalui akselerasi bauran efisiensi energi pada lini operasional, emiten mampu memitigasi beban fiskal NEK secara proporsional seiring penurunan intensitas emisi secara bertahap. Pada fasa ini, eksposur terhadap proteksionisme CBAM Uni Eropa juga mengalami reduksi signifikan, di mana beban kompensasi dapat ditekan hingga menyentuh level EUR 22,68 per ton semen. *Output* dari evaluasi *avoided cost* menunjukkan bahwa skenario transisi ini sukses mengombinasikan penghematan

belanja energi dengan pembatasan risiko penalti keuangan dari otoritas regulasi.

3. Proyeksi Skenario Jangka Panjang (Implementasi CCUS Ideal). Ketika teknologi dekarbonisasi radikal seperti *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) diterapkan secara penuh, kewajiban pajak karbon domestik perusahaan dapat ditekan hingga Rp 0. Hal ini terjadi karena agregat intensitas emisi korporasi telah berada di bawah plafon batas atas nasional. Secara paralel, liabilitas bea karbon ekspor ke Eropa juga menyusut menjadi EUR 0 semenjak profil emisi produk berada di bawah ambang batas pasar global. Skenario final ini memberikan keuntungan ekonomi jangka panjang yang optimal melalui pembentukan *avoided cost material* yang sangat masif.

Rekonstruksi Narasi Capaian Transisi Ekonomi Sirkular - Evaluasi Kinerja Aktual. Peta Jalan Ekonomi Sirkular Perusahaan. Berdasarkan data internal operasional, perusahaan telah merealisasikan bauran inovasi teknologi fase awal demi mendukung transisi keekonomian rendah karbon. Indikator riil dari pencapaian tersebut dijabarkan melalui poin-poin berikut:

1. Akselerasi Substitusi Energi Alternatif. Tingkat substitusi energi panas (*Thermal Substitution Rate/TSR*) guna mereduksi ketergantungan pada batu bara telah menyentuh angka sebesar 9,77%, memanfaatkan pasokan biomassa serta konversi limbah perkotaan.
2. Volume Tata Kelola Sirkularitas *Material*. Melalui optimalisasi utilitas *Refuse Derived Fuel* (RDF) yang dibangun atas sinergi bersama pemerintah daerah, perusahaan berhasil menyerap sekitar 2,2 juta ton limbah

dan sampah untuk diaplikasikan sebagai *alternative fuel and raw material* (AFR).

3. Optimasi Konsumsi Energi Rendah Karbon. Total konsumsi energi operasional grup dapat ditegaskan pada level 99.304.377 GJ. Efisiensi ini didukung secara penuh oleh pemanfaatan teknologi *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG) yang menangkap gas buang proses pabrik, serta ditopang oleh instalasi PLTS Atap dengan kapasitas pembangkitan mencapai 6,5 MWp.

PEMBAHASAN

Dampak Yuridis Konstitusional Tata Kelola Karbon & Kebijakan Makroekonomi. Temuan audit emisi yang menyentuh angka 618 kg CO₂/ton semen mengonfirmasi bahwa SIG berada dalam pusaran kepatuhan hukum yang sangat sensitif di bawah payung hukum Peraturan Presiden Nomor 110 Tahun 2025. Secara legal-formal, implementasi kebijakan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) ini menggeser paradigma tata kelola lingkungan; dari yang semula berupa eksternalitas sosial kini bertransformasi menjadi kewajiban keuangan mandatory (*mandatory financial liability*). Berdasarkan skema Persetujuan Teknis Batas Atas Emisi bagi Pelaku Usaha (PTBAE-PU), pelampauan pelepasan emisi di atas pagu resmi tidak lagi sekadar dipandang sebagai indikator degradasi ekologi, melainkan diklasifikasikan sebagai beban utang yuridis terhadap negara (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2025).

Amanat Pasal 14 dalam regulasi tersebut secara ketat mewajibkan pelaku industri untuk memformulasikan sistem pelaporan emisi yang akuntabel, di mana proses verifikasi wajib melalui koridor *Measurement, Reporting, and Verification* (MRV) nasional sebagaimana dipertegas dalam regulasi Pasal 76 hingga Pasal 78. Proyeksi kerugian finansial yang menyentuh Rp521,3 Miliar pada kondisi operasi tanpa inovasi (Tabel 4) menjadi bentuk manifestasi

penegakan regulasi tata negara melalui Pasal 73 mengenai Pungutan Atas Karbon.

Risiko hukum ini menjadi kian kompleks akibat integrasi instrumen *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM) oleh Uni Eropa. Margin deviasi emisi sebesar 576 kg CO₂/ton semen (Tabel 3) bertindak sebagai hambatan perdagangan non-tarif (*non-tariff barrier*) *unilateral* yang berisiko mengisolasi produk manufaktur nasional dari jaringan rantai pasok global (European Commission, 2024). Ditambah dengan kondisi pasar semen domestik yang tengah menghadapi tekanan makro berupa kelebihan pasokan (*oversupply*) dengan utilisasi kapasitas pabrik yang tertahan di level 65% sampai 70% (PT Semen Indonesia Persero Tbk, 2026), hilangnya restrukturisasi pasar ekspor akibat denda emisi CBAM akan memicu efek domino yang mengancam stabilitas niaga korporasi (Fitriyah, 2026; Wirdyansyah & Danial, 2025). Oleh sebab itu, pematuhan regulasi iklim ini bergeser dari program sukarela menjadi instrumen pertahanan legal demi keberlangsungan korporasi.

Evaluasi Teknis Efektivitas *Green Tech Roadmap* dan Batasan Operasional Pabrik. Berdasarkan data empiris, bauran inovasi jangka pendek perusahaan yang bertumpu pada pencapaian TSR 9,77% serta pemanfaatan 2,2 juta ton limbah sirkular (Tabel 4) terbukti andal dalam memitigasi eksposur risiko keuangan awal. Inisiatif penurunan rasio klinker (*clinker factor reduction*) melalui penyerapan material sekunder seperti *fly ash* dan *slag* secara rekayasa teknologi mampu mereduksi pelepasan emisi intrinsik dari reaksi klinkerisasi batu kapur. Langkah optimasi lini pembakaran dan efisiensi kapasitas produksi ini dijalankan selaras dengan metodologi evaluasi efisiensi teknis industri semen domestik (Hendrawan & Putra, 2021).

Kendati demikian, hasil pemodelan skenario membuktikan bahwa efisiensi konvensional (Skenario Jangka Pendek-Menengah) hanya mampu menekan

liabilitas bea CBAM hingga *level* EUR 22,68 per ton semen, belum mencapai target eliminasi mutlak (EUR 0). Sebagai sektor yang tergolong *hard-to-abate sector*, karakteristik pelepasan CO₂ dari pemrosesan kimiawi batu kapur tidak dapat diselesaikan secara tuntas hanya dengan mengandalkan bauran energi terbarukan (EBT) seperti utilitas WHRPG atau PLTS Atap semata. Guna memenuhi target jangka pendek reduksi emisi sebesar 33,7% pada tahun 2032 yang selaras dengan trajektori pembatasan suhu global 1,5 derajat Celcius dari *Science Based Targets initiative* (SBTi), adopsi rekayasa radikal berbasis *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) menjadi kebutuhan teknis mutlak di masa depan. CCUS merupakan pilar mitigasi tunggal yang mampu mengisolasi emisi proses kimia secara absolut, dan implementasi skala komersialnya telah diakui secara global sebagai instrumen utama reduksi emisi industri semen masa depan (Plaza et al., 2020).

Kendala operasional yang dihadapi emiten bertumpu pada karakteristik investasi CCUS yang memerlukan belanja modal (CAPEX) berskala raksasa, kendala ketidakpastian jalur transportasi karbon, serta kesiapan dukungan kelembagaan (Oluwafemi & Kabeya, 2025). Selama fase transisi menuju komersialisasi teknologi ini berjalan, konversi emisi CO₂ menjadi produk hilir bernilai ekonomi baru - salah satunya melalui analisis tekno-enviro-ekonomis pada manufaktur *precipitated calcium carbonate* (PCC) - dapat menjadi alternatif solusi transisi yang rasional untuk diimplementasikan (Panggabean & Purwanto, 2026).

Dampak Restrukturisasi Keuangan Berkelanjutan Berbasis Analisis *Avoided Cost*. Penerapan akuntansi biaya lingkungan lewat kerangka pemodelan *avoided cost analysis* (Tabel 4) berhasil merekonstruksi sudut pandang konvensional terhadap pendanaan proyek hijau. Alokasi modal intensif untuk dekarbonisasi tidak lagi dipandang sebagai beban biaya yang hilang (*sunk cost*), melainkan diklasifikasikan sebagai aset pelindung finansial (*preventative*

asset) yang membentuk nilai keekonomian jangka panjang melalui pencegahan kerugian material akibat sanksi regulasi (*avoided cost*).

Untuk mendanai seluruh peta jalan inovasi rendah karbon tanpa mengganggu rasio *leverage* pada neraca keuangan utama, SIG menyelaraskan arsitektur pendanaannya dengan koridor Taksonomi Keberlanjutan Indonesia (TKBI) Versi 2 (Otoritas Jasa Keuangan, 2025) serta Peraturan OJK Nomor 30 Tahun 2025 mengenai Penerbitan Instrumen Keuangan Berkelanjutan. Pensegmentasian aktivitas ekonomi (*segmented activities*) memberikan peluang bagi perusahaan untuk merilis instrumen pendanaan yang spesifik, yang dijabarkan sebagai berikut:

1. Mekanisme *Green Bonds* dan *Green Loans*. Pendanaan ini dialokasikan secara eksklusif untuk membiayai proyek fisik berwujud (*tangible green assets*), seperti modernisasi fasilitas RDF pengolah sampah perkotaan serta perluasan WHRPG demi memperoleh tingkat suku bunga pendanaan (*cost of fund*) yang jauh lebih kompetitif dari perbankan berbasis lingkungan.
2. Aplikasi *Sustainability Linked Loan* (SLL). Berbeda dengan pinjaman konvensional, instrumen SLL memanfaatkan komitmen kepatuhan target penurunan emisi yang tervalidasi oleh SBTi sebagai indikator kinerja utama (*Sustainability Performance Targets*). Pencapaian target ini menjadi basis utama untuk memperoleh insentif berupa potongan atau diskon suku bunga pinjaman yang sedang berjalan.
3. Monetisasi Finansial Melalui Skema NEK. Lewat integrasi pemantauan emisi berbasis *Continuous Emissions Monitoring System* (CEMS) secara *real-time* ke dalam Sistem Registri Nasional (SRN), perusahaan tidak hanya mematuhi aspek legalitas hukum, tetapi juga menciptakan sumber pendapatan baru (*new revenue stream*). Hal ini

dicapai dengan mengonversi klaim reduksi emisi menjadi Sertifikat Penurunan Emisi (SPE-GRK) yang memiliki nilai komersial untuk diperdagangkan di Bursa Karbon Indonesia (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2025).

4. Retensi Pasar Modal Global (IDX ESG Leaders). Keberhasilan perusahaan dalam mempertahankan peringkat ESG yang kokoh melalui evaluasi Morningstar Sustainalytics mengunci posisi korporasi di dalam konstituen indeks IDX ESG Leaders di Bursa Efek Indonesia. Status ini memberikan keunggulan reputasi yang sangat kritikal untuk menekan risiko penarikan modal sekaligus menarik arus modal masuk (*capital inflow*) baru dari jajaran pengelolaan reksa dana serta investor institusional global yang berorientasi pada kriteria ESG.

SIMPULAN

Konklusi dan Rekomendasi Strategis Transisi Bisnis. PT Semen Indonesia (Persero) Tbk (SIG) berada pada fase krusial yang menuntut adaptasi bisnis secara nyata akibat tekanan liabilitas keuangan ganda. Risiko fiskal ini bersumber dari implementasi pajak karbon domestik berdasarkan Perpres No. 110 Tahun 2025 serta restriksi tarif global melalui mekanisme *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM) Uni Eropa. Kendati konversi operasional menuju manufaktur semen rendah karbon memerlukan alokasi belanja modal awal berskala masif, langkah strategis tersebut bernilai mutlak. Investasi ini menjadi instrumen utama dalam membentuk nilai keekonomian jangka panjang, baik melalui efisiensi konsumsi energi berbasis sirkularitas maupun sebagai proteksi terhadap risiko penalti keuangan (*avoided cost*). Sebagai langkah taktis untuk menjamin keberlanjutan operasional korporasi, studi ini merumuskan

empat pilar rekomendasi kebijakan yang saling terintegrasi bagi manajemen emiten:

1. Digitalisasi Legitimasi Data Emisi Hukum. Manajemen perusahaan perlu mengakselerasi integrasi infrastruktur digital yaitu *Continuous Emissions Monitoring System* (CEMS) secara langsung dan *real-time* ke dalam Sistem Registri Nasional Pengendalian Perubahan Iklim (SRN-PPI) di bawah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Langkah ini krusial guna mengamankan validitas hukum dan akurasi klaim reduksi karbon korporasi.
2. Ekspansi Kemitraan Sirkular Berbasis *Refuse Derived Fuel* (RDF). Diperlukan perluasan jangkauan proyek pengadaan fasilitas energi alternatif yang diikat melalui komitmen kerja sama strategis dengan Pemerintah Daerah. Kerja sama ini bertujuan untuk mengamankan kontinuitas pasokan bahan baku sampah perkotaan sebagai substitusi bahan bakar batu bara secara berkelanjutan.
3. Optimasi Struktur Pendanaan Hijau dan Retensi Indeks Pasar Modal. Korporasi harus memaksimalkan posisi strategisnya sebagai salah satu konstituen indeks IDX ESG Leaders untuk menerbitkan instrumen *Green Bonds*. Pendanaan ini dialokasikan secara spesifik untuk membiayai target bauran energi baru terbarukan (EBT) jangka menengah demi memperoleh beban suku bunga pinjaman yang jauh lebih kompetitif.
4. Inisiasi Konsorsium Riset Teknologi Dekarbonisasi Radikal. Manajemen perlu membangun kemitraan riset dan pengembangan (*R&D*) teknologi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) berskala multilateral. Langkah awal dilakukan dengan menyusun kajian teknis serta studi kelayakan aplikasi CCUS bertahap melalui kolaborasi bersama konsorsium

BUMN sektor energi untuk memastikan kesiapan infrastruktur penyimpanan karbon nasional di masa depan.

DAFTAR RUJUKAN

- Chu, H. L., Do, N. T., Nguyen, L., Le, L., Ho, Q. A., Dang, K., & Ta, M. A. (2024). The economic impacts of the European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism on developing countries: The case of Vietnam. *Fulbright Review of Economics and Policy*, 4(1), 1–17. <https://doi.org/10.1108/FREP-03-2024-0011>
- European Commission. (2024). *The Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM): Implementation guidance for transitional phase and emission benchmarks*. European Union.
- Fitriyah, A. (2026). The impact of the EU Carbon Border Adjustment Mechanism on Indonesia (trade competitiveness, economic stability, and policy adaptation). *Indonesian Journal of Energy*, 9(1). <https://doi.org/10.33116/ije.v9i1.285>
- Hendrawan, R., & Putra, E. (2021). Analysis of efficiency and strategy for increasing efficiency through the potential improvement of the company using Data Envelopment Analysis method (A study of cement companies in Indonesia). *Journal of Southwest Jiaotong University*, 56(3). <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.56.3.17>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2025). *Laporan Pelaksanaan Nilai Ekonomi Karbon Sektor Industri Terhadap Peraturan Presiden Nomor 110 Tahun 2025*. KLHK.
- Oluwafemi, E. I., & Kabeya, M. (2025). Decarbonizing the cement industry: Technological, economic, and policy barriers to CO₂ mitigation adoption. *Clean Technologies*, 7(4), 85. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol7040085>
- Otoritas Jasa Keuangan. (2025). *Taksonomi Keberlanjutan Indonesia (TKBI) Versi 2*. OJK.
- Panggabean, N. D. P., & Purwanto, W. W. (2026). Techno-enviro-economic analysis of precipitated calcium carbonate production from carbon dioxide in cement industry flue gas and calcium hydroxide. *Journal of Materials Exploration and Findings (JMEF)*, 5(1). <https://doi.org/10.7454/jmef.v5i1.1107>
- Otoritas Jasa Keuangan. (2025). *Peraturan Nomor 30 Tahun 2025 tentang Penerbitan Instrumen Keuangan Berkelanjutan*.
- Presiden Republik Indonesia. (2025). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 110 Tahun 2025 tentang Penyelenggaraan Instrumen Nilai Ekonomi Karbon dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Nasional*.
- Plaza, M. G., Martínez, S., & Rubiera, F. (2020). CO₂ capture, use, and storage in the cement industry: State of the art and expectations. *Energies*, 13(21), 5692. <https://doi.org/10.3390/en13215692>
- PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. (2026). *Laporan keberlanjutan 2025: Enhancing financial and business development through ESG*. SIG.
- Science Based Targets initiative (SBTi). (2024). *SBTi cement guidance: Target validation criteria for 1.5°C aligned pathways*. SBTi Global.
- Wiridyansyah, & Danial, M. (2025). Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) and its implications for developing economies. *Indonesian Journal of Energy*, 8(2). <https://doi.org/10.33116/ije.v8i2.292>