

Analisis Komparatif Strategi Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca dan Kinerja Pelaporan Berbasis GRI 305 pada Industri Hulu Migas: Studi Kasus Pertamina Hulu Energi (Indonesia) dan PTT Exploration and Production (Thailand)

Muhammad Yasin Atsaqib^{1*}, Indah Fachriah², Maria Ariesta Utha³
(1,2,3) Magister Manajemen, Fakultas Ekonomi & Bisnis, Universitas Trisakti, Indonesia

Abstrak: Perubahan iklim menuntut industri hulu minyak dan gas (migas) untuk melakukan transisi energi dan meningkatkan transparansi pelaporan emisi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komparatif strategi mitigasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan kinerja pelaporan keberlanjutan berbasis standar Global Reporting Initiative (GRI) 305 antara Pertamina Hulu Energi (PHE) Indonesia dan PTT Exploration and Production (PTTEP) Thailand. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus komparatif. Data dikumpulkan melalui studi dokumentasi terhadap Sustainability Report, Annual Report, dan dokumen Nationally Determined Contribution (NDC) kedua negara. Hasil penelitian diharapkan dapat mengidentifikasi kesenjangan efektivitas strategi dekarbonisasi dan kualitas pengungkapan emisi, serta merumuskan praktik terbaik (best practices) untuk mendukung target Net Zero Emission (NZE) nasional.

Article history:

Received: 17 June 2026

Revised: 18 June 2026

Accepted: 24 June 2026

Published: 26 June 2026

Kata Kunci:

Climate Change Governance, Strategi Mitigasi, Gas Rumah Kaca, GRI 305, Industri Hulu Migas, Net Zero Emission.

Abstract: *Climate change compels the upstream oil and gas industry to undergo an energy transition and enhance the transparency of emissions reporting. This study aims to conduct a comparative analysis of Greenhouse Gas (GHG) emission mitigation strategies and sustainability reporting performance—based on Global Reporting Initiative (GRI) 305 standards—between Pertamina Hulu Energi (PHE) of Indonesia and PTT Exploration and Production (PTTEP) of Thailand. A descriptive qualitative method employing a comparative case study approach is utilized. Data were gathered through a documentary review of sustainability reports, annual reports, and the Nationally Determined Contribution (NDC) documents of both nations. The study's findings are expected to identify gaps regarding the effectiveness of decarbonization strategies and the quality of emissions disclosures, as well as to formulate best practices to support national Net Zero Emission (NZE) targets.*

Keyword:

Climate Change Governance, Mitigation Strategies, Greenhouse Gases, GRI 305, Upstream Oil and Gas Industry, Net Zero Emissions.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA License](#).



How to cite: Atsaqib, M. Y., Fachriah, I., & Utha, M. A. (2026). Analisis Komparatif Strategi Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca dan Kinerja Pelaporan Berbasis GRI 305 pada Industri Hulu Migas: Studi Kasus Pertamina Hulu Energi (Indonesia) dan PTT Exploration and Production (Thailand). *Jurnal Ekonomi, Manajemen, dan Bisnis*, 4(2), 578–591. <https://doi.org/10.70716/emis.v4i2.623>

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan ancaman paling signifikan bagi keberlanjutan ekosistem global, dengan sektor energi dan minyak bumi menjadi penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca (GRK). Data (IEA, 2024) menunjukkan bahwa industri minyak dan gas bertanggung jawab sekitar 15% dari total emisi global CO₂ yang bersumber dari aktivitas upstream, terutama akibat flaring dan kebocoran metana. Tantangan global ini menuntut perusahaan energi untuk mengadopsi strategi mitigasi berbasis inovasi teknologi dan tata kelola lingkungan yang transparan. Penelitian (Kumar, 2023) menekankan bahwa perusahaan minyak dan gas global kini menempatkan pelaporan berbasis *Global Reporting Initiative* (GRI 305) sebagai alat strategis dalam mengukur dan mengomunikasikan kinerja dekarbonisasi secara kualitatif dan kuantitatif. Hal ini

diperkuat oleh (Samiei, 2024) yang menemukan bahwa implementasi standar GRI dalam industri migas Eropa mendorong peningkatan akuntabilitas lingkungan dan memperkuat posisi perusahaan di pasar global yang semakin menuntut keberlanjutan.

Di kawasan Asia Tenggara, negara-negara seperti Indonesia dan Thailand menghadapi paradoks energi: kebutuhan energi meningkat seiring pertumbuhan ekonomi, namun keduanya berkomitmen untuk mencapai target *Net Zero Emission* (NZE) pada 2060 dan 2050. Dalam konteks nasional, Indonesia melalui Pertamina Hulu Energi (PHE) serta Thailand melalui PTT Exploration and Production (PTTEP) memainkan peran strategis sebagai motor penggerak transisi energi rendah karbon. Kwarto, Nurafiah, dan Suharman mengidentifikasi bahwa perusahaan hulu migas di kawasan ini masih menghadapi kesenjangan antara komitmen dekarbonisasi dan praktik pelaporan aktual yang belum sepenuhnya sesuai dengan prinsip GRI 305 (Kwarto, 2024). Temuan ini sejalan dengan Handojo dan Sukoharsono (Handojo, 2025) yang menyatakan bahwa di Indonesia, kepatuhan pengungkapan topik material terkait emisi dalam laporan keberlanjutan masih bersifat deskriptif dan belum diukur secara komprehensif berdasarkan standar internasional. Fenomena ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk memperkuat pendekatan kualitatif dalam evaluasi strategi mitigasi GRK dan transparansi pelaporan lingkungan.

Kedua perusahaan, PHE dan PTTEP, telah mengembangkan inisiatif mitigasi GRK melalui peningkatan efisiensi energi, gas flaring reduction, dan investasi pada proyek carbon offsetting. Namun, perbedaan dalam pendekatan strategis dan pengungkapan pelaporan menunjukkan variasi tingkat kesiapan institusional. Studi Kehinde (2024) menyoroti pentingnya tata kelola perusahaan dalam memengaruhi kualitas pelaporan lingkungan di sektor migas, di mana pengungkapan yang baik sering kali berkorelasi dengan integritas dewan direksi dan keterlibatan pemangku kepentingan. Dalam konteks Indonesia, Handojo & Sukoharsono (2025) menemukan bahwa PHE telah berupaya menerapkan pengungkapan GRI 305-4 dan GRI 305-5, namun belum sepenuhnya menyajikan dampak kualitatif terhadap strategi dekarbonisasi nasional. Kondisi ini memperlihatkan bahwa praktik pelaporan masih cenderung normatif, belum sepenuhnya terintegrasi dengan evaluasi efektivitas kebijakan mitigasi.

Kegagalan dalam mengelola emisi GRK dan pelaporan yang tidak transparan menimbulkan konsekuensi sosial dan moral yang signifikan. Wood (2022) mencatat bahwa meningkatnya praktik flaring dan kebocoran gas di industri hulu menciptakan persepsi negatif publik terhadap tanggung jawab sosial korporasi. Dalam konteks masyarakat sekitar operasi migas, fenomena ini menimbulkan keresahan sosial akibat polusi udara dan potensi kerusakan lingkungan. Sebaliknya, keberhasilan perusahaan dalam menekan emisi dan menerapkan pelaporan GRI 305 yang transparan mampu membangun kepercayaan masyarakat serta memperkuat legitimasi moral perusahaan (Kwarto et al., 2024). Hal ini menunjukkan bahwa isu mitigasi GRK bukan hanya persoalan teknis, melainkan juga etika korporasi dalam menjaga keberlanjutan sosial dan ekologis di tingkat lokal.

Berbagai penelitian internasional telah menelaah hubungan antara pelaporan keberlanjutan dan strategi mitigasi GRK di sektor migas. Samiei (2024) mengemukakan bahwa penerapan GRI 305 di Eropa mampu meningkatkan integritas laporan keberlanjutan dan mempercepat adaptasi perusahaan terhadap kebijakan dekarbonisasi. Sementara itu, Kumar (2023) menyoroti bahwa pendekatan kualitatif dalam analisis strategi mitigasi GRK memberikan pemahaman yang lebih mendalam terhadap proses pengambilan keputusan strategis dan dampaknya terhadap kinerja korporasi. Di Indonesia, Handojo & Sukoharsono (2025) menambahkan bahwa sebagian besar perusahaan migas nasional masih menggunakan pendekatan content analysis tanpa mengevaluasi kualitas data naratif secara mendalam. Dari literatur tersebut, dapat

disimpulkan bahwa meskipun banyak studi telah membahas pelaporan GRI 305, fokus penelitian yang mengaitkan pelaporan tersebut dengan efektivitas mitigasi GRK dalam konteks Asia Tenggara masih sangat terbatas.

Terdapat tiga kesenjangan utama yang perlu diisi oleh penelitian ini. Pertama, sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada industri migas di kawasan Eropa dan Afrika, sementara kajian kontekstual di Asia Tenggara masih terbatas (Kehinde, 2024; Samiei, 2024). Kedua, pendekatan yang digunakan cenderung kuantitatif, padahal isu dekarbonisasi dan pelaporan keberlanjutan memerlukan eksplorasi kualitatif terhadap makna, persepsi, dan dinamika organisasi (Kumar, 2023; Handojo & Sukoharsono, 2025). Ketiga, belum banyak studi yang melakukan analisis komparatif lintas negara mengenai integrasi strategi mitigasi GRK dengan pelaporan GRI 305, khususnya pada PHE dan PTTEP yang menjadi representasi dua sistem tata kelola migas di Asia Tenggara. Dengan demikian, penelitian ini akan mengisi celah akademik tersebut melalui pendekatan kualitatif yang mendalam.

Penelitian ini penting dilakukan untuk memahami secara komprehensif bagaimana strategi mitigasi GRK diterapkan oleh PHE dan PTTEP serta bagaimana keduanya melaporkan kinerja tersebut berdasarkan indikator GRI 305. Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis efektivitas strategi mitigasi GRK kedua perusahaan dalam mendukung target NZE serta menilai sejauh mana pelaporan keberlanjutan mereka mencerminkan praktik dekarbonisasi yang nyata. Secara teoretis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur mengenai manajemen keberlanjutan dan tata kelola lingkungan di sektor energi, khususnya dalam konteks negara berkembang. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi pembuat kebijakan dan pelaku industri dalam merumuskan standar pelaporan keberlanjutan yang lebih akuntabel dan adaptif terhadap tantangan transisi energi global.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini disusun secara sistematis menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode studi kasus komparatif (*comparative case study*) untuk mengevaluasi strategi mitigasi emisi antara dua entitas minyak nasional. Penentuan sampel dalam penelitian ini menggunakan teknik *Purposive Sampling*, yaitu teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu di mana subjek yang dipilih paling merepresentasikan karakteristik populasi yang diteliti. Berdasarkan teknik tersebut, Pertamina Hulu Energi (PHE) dan PTT Exploration and Production (PTTEP) dipilih secara sengaja (*deliberate choice*) dengan pertimbangan utama bahwa keduanya adalah National Oil Companies (NOC) yang merepresentasikan sektor hulu migas di dua negara ekonomi terbesar ASEAN, Indonesia dan Thailand, yang memiliki komitmen target Net Zero Emission (NZE) nasional yang spesifik yaitu Indonesia 2060 dan Thailand 2050. Pemilihan kedua perusahaan ini krusial untuk membandingkan efektivitas implementasi strategi mitigasi yang berbeda, guna mendapatkan gambaran komprehensif mengenai kesiapan dekarbonisasi di kawasan regional. Prosedur penelitian dilanjutkan dengan pengumpulan data sekunder melalui inventarisasi Sustainability Report dan Annual Report periode 2021–2024, serta analisis data menggunakan reduksi, penyajian matriks komparasi kinerja emisi (Scope 1, 2, dan 3), dan penarikan kesimpulan untuk merumuskan rekomendasi strategis bagi pengembangan kebijakan industri hulu migas nasional.

Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah Studi Dokumentasi (*Documentation Study*). Penulis mengumpulkan, menyeleksi, dan mempelajari dokumen-dokumen resmi yang dipublikasikan oleh objek penelitian. Proses ini meliputi pengunduhan laporan dari situs resmi PHE dan PTTEP, serta penelusuran

literatur terkait kebijakan mitigasi emisi di kedua negara. Data yang diperoleh kemudian diklasifikasikan berdasarkan indikator yang telah ditetapkan dalam kerangka GRI 305 untuk memudahkan proses komparasi.

Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis data kualitatif dengan Model Analisis Interaktif (Interactive Model) yang dikembangkan oleh Miles dan Huberman. Model ini dipilih karena sesuai untuk penelitian kualitatif deskriptif yang menggunakan data sekunder berupa dokumen resmi. Menurut Sugiyono (2013), analisis data merupakan proses mencari dan menyusun secara sistematis data yang diperoleh melalui dokumentasi dengan cara mengorganisasikan data ke dalam kategori, menjabarkannya ke dalam unit-unit analisis, menyusun pola, serta menarik kesimpulan.

Analisis data dilakukan secara interaktif dan berlangsung terus-menerus hingga data mencapai kejenuhan, yang meliputi tiga tahapan utama, yaitu:

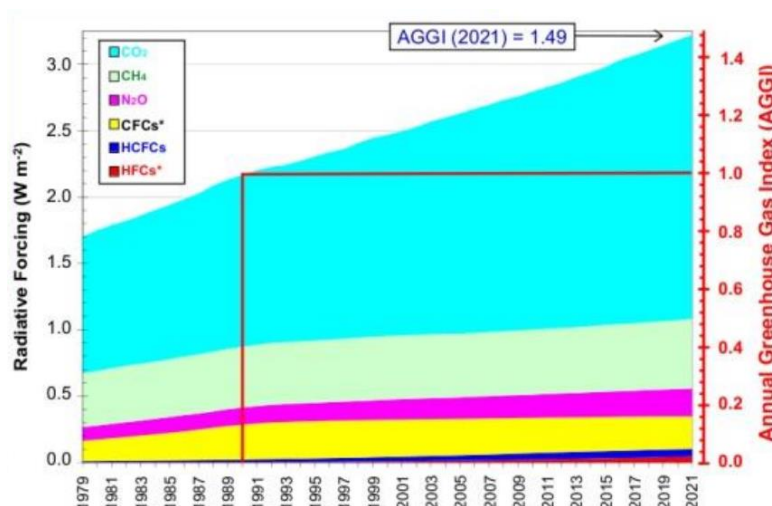
- (1) Reduksi Data,
- (2) Penyajian Data, dan
- (3) Penarikan Kesimpulan/Verifikasi.

Reduksi data dilakukan dengan mengidentifikasi dan memilah informasi yang relevan dari Sustainability Report dan dokumen pendukung yang berkaitan dengan emisi GRK, strategi mitigasi, serta pelaporan berbasis GRI 305. Data yang telah direduksi kemudian disajikan dalam bentuk narasi deskriptif dan tabel komparatif untuk memudahkan interpretasi. Tahap akhir adalah penarikan kesimpulan dan verifikasi, yaitu merumuskan temuan penelitian berdasarkan pola dan kecenderungan yang muncul dari hasil analisis.

RESULTS AND DISCUSSION

Profil Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) PHE dan PTTEP

Berdasarkan hasil inventarisasi emisi GRK yang bersumber dari Sustainability Report PT Pertamina Hulu Energi (PHE) dan PTT Exploration and Production (PTTEP) periode 2021–2024, kedua perusahaan telah melakukan pengelompokan emisi berdasarkan klasifikasi lingkup emisi (scoping) yang selaras dengan kerangka GRI 305. Hasil inventarisasi emisi GRK PHE dan PTTEP periode 2021–2024 menunjukkan peran krusial sektor hulu migas dalam kontribusi emisi nasional. Secara luas, Indonesia berada di urutan keenam dunia dalam menghasilkan gas emisi (sekitar 4,47% emisi global) dan menjadi penghasil emisi terbanyak di Asia Tenggara pada tahun 2022. Dalam lingkup korporasi, PHE mencatatkan peningkatan emisi absolut dari 10,05 juta ton CO_2e pada 2021 menjadi 14,94 juta ton CO_2e pada 2024. Fenomena ini sejalan dengan temuan ilmiah bahwa konsentrasi CO_2 di Indonesia terus meningkat dengan rata-rata laju 2,2 ppm/tahun. Peningkatan emisi ini sangat mengkhawatirkan karena mekanisme efek rumah kaca secara fisik memerangkap radiasi panas di atmosfer, yang memicu kenaikan suhu rata-rata permukaan bumi. Pengaruh pemanasan langsung dari gas rumah kaca secara global telah meningkat 49% di atas tahun dasar 1990, dengan nilai Annual Greenhouse Gas Index (AGGI) mencapai 1,49 W/m^2 pada akhir 2021.



Gambar 1. Indeks tahunan Gas Rumah Kaca (AGGI) periode 1979-2021 (<https://gml.noaa.gov/aggi/>)

PTTEP menunjukkan pengelolaan intensitas yang lebih agresif dengan reduksi 53,8% pada 2024. Langkah ini krusial mengingat tahun 2016 tercatat sebagai tahun terpanas di Indonesia dengan anomali suhu mencapai 0,6°C, dan tren ini terus berlanjut di mana suhu tahun 2023 telah menyentuh ambang batas 1,5 derajat Celsius yang ditetapkan Perjanjian Paris. Emisi Scope 1 merupakan kontributor terbesar bagi kedua perusahaan, yang berasal dari aktivitas inti industri hulu migas seperti pembakaran bahan bakar, flaring, dan proses produksi. PHE menunjukkan tren peningkatan emisi absolut dari 10,05 juta ton CO_2e pada 2021 menjadi 14,94 juta ton CO_2e pada 2024, yang dipengaruhi oleh bergabungnya Wilayah Kerja (WK) baru seperti Rokan dan Badak NGL, serta beroperasinya PEPC JTB. Sebaliknya, PTTEP menunjukkan pengelolaan yang lebih agresif terhadap intensitas emisi. Sejak menetapkan tahun dasar baru di 2020, PTTEP berhasil menurunkan intensitas emisi secara signifikan dari reduksi 20,5% pada 2022 menjadi 53,8% pada 2024. Pengungkapan Scope 3 masih menjadi tantangan; PHE baru mulai melaporkan Scope 3 secara mendalam pada tahun 2023/2024 untuk kategori 3, 5, 10, dan 11 dengan total 3,28 juta ton CO_2e . Sementara PTTEP memfokuskan komitmen Net Zero 2050 pada Scope 1 dan Scope 2.

Tabel 1. Profil Emisi GRK PHE dan PTTEP (2021–2024)

Tahun	Perusahaan	Scope 1 (Juta ton CO_2e)	Scope 2 (Juta ton CO_2e)	Scope 3 (Juta ton CO_2e)	Intensitas Emisi GRK ($tCO_2e/$ BOE)	Keterangan
2021		9,16	0,88	-	0,0374	Baseline 2021 mencakup Rokan & Badak NGL.
2022	Pertamina Hulu Energi	12,15	1,75	-	0,0389	Peningkatan akibat operasional penuh entitas baru.
2023		11,99	1,97	3,28	0,0384	Mulai melaporkan Scope 3 secara parsial.

Tahun	Perusahaan	Scope 1 (Juta ton CO_2e)	Scope 2 (Juta ton CO_2e)	Scope 3 (Juta ton CO_2e)	Intensitas Emisi GRK ($tCO_2e/$ BOE)	Keterangan
2024	PTTEP Thailand	12,45	2,48	3,28	0,0471	Intensitas naik karena emisi dari PEPC JTB
2021		5,14	0,013	0,009	19,7% reduksi (base 2012)	Intensitas turun 24,1% dibanding base 2012.
2022		5,71	0,014	0,017	20,5% reduksi	Menetapkan target baru "EP Net Zero 2050"
2023		6,74	0,017	0,026	39,7% reduksi	CAPEX transisi energi USD 29,5 juta.
2024		6,55	0,016	0,102	53,8% reduksi	Berhasil mencapai target 8 tahun lebih awal.

Berdasarkan hasil inventarisasi emisi GRK yang bersumber dari laporan keberlanjutan periode 2021–2024, kedua perusahaan telah melakukan pengelompokan emisi berdasarkan klasifikasi lingkup emisi (scoping) yang selaras dengan kerangka GRI 305. Emisi Scope 1 merupakan kontributor terbesar bagi kedua perusahaan, yang berasal dari aktivitas inti industri hulu migas seperti pembakaran bahan bakar, flaring, dan proses produksi. Profil emisi kedua perusahaan menunjukkan perbedaan karakteristik pertumbuhan. PHE mengalami peningkatan emisi absolut yang signifikan (dari 10,05 juta ke 14,94 juta ton CO_2e) yang bersifat struktural akibat ekspansi portofolio melalui akuisisi Wilayah Kerja Rokan dan Badak NGL. Hal ini menunjukkan tantangan PHE dalam menyeimbangkan target produksi nasional dengan target dekarbonisasi. Sebaliknya, PTTEP menunjukkan performa yang lebih agresif dalam penurunan intensitas emisi, di mana pada tahun 2024 mereka berhasil melampaui target reduksi 30% yang direncanakan untuk tahun 2030. PTTEP lebih memfokuskan pelaporan pada efektivitas reduksi kumulatif, sementara PHE lebih transparan dalam menyajikan fluktuasi data emisi tahunan per wilayah regional.

Strategi Mitigasi Emisi GRK dan Implementasinya

Strategi dekarbonisasi PHE yang bertumpu pada Nature-based Solutions (NBS) melalui rehabilitasi mangrove di Delta Mahakam dan Pesisir Bontang merupakan respon strategis terhadap krisis iklim yang kini telah bermutasi menjadi krisis pangan. Cuaca ekstrem dan pergeseran musim hujan di Indonesia menjadi bukti nyata krisis iklim yang mengancam kegagalan panen. Oleh karena itu, inisiatif Blue Carbon PHE tidak hanya berfungsi sebagai penyerap karbon, tetapi juga menjaga stabilitas ekosistem pesisir. Di sisi teknologi, implementasi CCS/CCUS oleh PTTEP pada Proyek Arthit dan injeksi perdana CO_2 oleh PHE di Lapangan Jatibarang pada 2022 merupakan langkah konkret untuk menekan emisi yang sulit dihindari (hard-to-abate). Teknologi ini mendesak karena sektor energi Indonesia ditargetkan melakukan transisi besar-besaran, di mana penggunaan minyak bumi diproyeksikan turun dari 49,7% pada 2010 menjadi 19,4% pada 2030, digantikan oleh peningkatan Energi Baru Terbarukan (EBT) hingga 30,9%.

Hasil analisis menunjukkan bahwa PHE dan PTTEP sama-sama menerapkan strategi mitigasi emisi berbasis inisiatif dekarbonisasi operasional, meskipun dengan tingkat kematangan yang berbeda. PTTEP telah mengintegrasikan berbagai inisiatif teknologi, seperti:

1. pengurangan *gas flaring* melalui optimasi proses produksi,
2. program efisiensi energi di fasilitas operasi lepas pantai dan darat,
3. serta eksplorasi penerapan CCS/CCUS sebagai bagian dari strategi jangka menengah.

Sementara itu, PHE lebih menekankan pada:

1. peningkatan efisiensi energi,
2. optimalisasi operasi lapangan migas,
3. serta upaya penurunan flaring secara bertahap.

Implementasi energi terbarukan pada fasilitas operasi masih bersifat terbatas pada kedua perusahaan dan lebih banyak berfungsi sebagai proyek percontohan (pilot project). Hal ini menunjukkan bahwa strategi mitigasi emisi masih berfokus pada pengurangan emisi langsung dibandingkan transformasi energi secara menyeluruh. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa PTTEP berada pada tahap implementasi strategi mitigasi yang lebih sistematis, sedangkan PHE masih berada pada fase konsolidasi kebijakan dan efisiensi internal. Hasil analisis menunjukkan bahwa PHE dan PTTEP menerapkan strategi mitigasi berbasis teknologi dekarbonisasi operasional. PTTEP menunjukkan kematangan lebih tinggi dalam diversifikasi energi rendah karbon, termasuk investasi pada angin lepas pantai (Seagreen) dan hidrogen hijau di Oman. PTTEP juga memelopori proyek CCS pertama di Thailand pada Proyek Arthit dengan target injeksi 0,7–1 juta ton CO_2 per tahun. PHE telah memulai implementasi teknologi serupa dengan injeksi perdana CO_2 di Lapangan Jatibarang pada Oktober 2022 sebagai tahap awal CCS/CCUS di Indonesia. Strategi PHE juga sangat bertumpu pada Nature-based Solutions (NBS) melalui inisiatif Blue Carbon di Delta Mahakam dan Pesisir Bontang dengan penanaman jutaan bibit mangrove.

Tabel 2. Strategi mitigasi emisi GRK PHE dan PTTEP

Tahun	Perusahaan	CCS/CCUS	Pengurangan Gas Flaring	Efisiensi Energi	Energi Terbarukan	Catatan Implementasi
2021 - 2024	PHE	Injeksi JTB-161 (2022). Studi di Sunda Asri & Masela.	Kebijakan <i>Zero Routine Flaring</i> 2030. Proyek FLADEO.	Optimasi kompresor & sistem "DNA Pro".	Pemanfaatan EBT 4,7 juta GJ (2022). Pilot surya & hidrogen.	Fokus pada optimalisasi fasilitas eksisting dan NBS (<i>Blue Carbon</i>).
2021 - 2024	PTTEP	Proyek Arthit (FID 2024, Operasi 2027). <i>Eastern Thailand Hub</i> .	<i>Flare gas recovery</i> di S1 Project. Target <i>Zero Routine Flaring</i> 2030.	Pengembangan RD&T melalui RASC dan PTIC.	Wind Farm Seagreen (UK). Green Hydrogen Oman	Diversifikasi bisnis ke energi masa depan (Hidrogen & Angin) secara masif.

Strategi mitigasi PTTEP mencerminkan transformasi menuju perusahaan energi rendah karbon yang berorientasi global, terlihat dari investasi besar pada tenaga angin lepas pantai di Inggris dan hidrogen hijau di Oman. Di sisi lain, PHE menunjukkan kepemimpinan dalam strategi mitigasi berbasis alam (Nature-based Solutions) melalui inisiatif Blue Carbon dan rehabilitasi mangrove berskala besar di Indonesia sebagai upaya offset emisi yang sulit dikurangi secara teknis. Untuk teknologi CCS/CCUS, PTTEP berada pada tahap yang lebih matang dengan Proyek Arthit yang segera memasuki tahap implementasi penuh, sementara PHE masih berada pada tahap percontohan dan studi kelayakan di berbagai basin di Indonesia.

Kepatuhan dan Kualitas Pelaporan Keberlanjutan Berdasarkan GRI 305

Analisis kepatuhan menunjukkan bahwa PHE dan PTTEP telah melampaui pelaporan normatif dengan merinci parameter gas seperti CH_4 dan N_2O . Transparansi ini sangat penting karena gas metana CH_4 memiliki kontribusi signifikan terhadap pemanasan global, di mana konsentrasi puncaknya secara global mencapai 18,31 ppb/tahun. PHE yang melaporkan rincian gas non-GRK (NOx, SOx) memberikan nilai tambah dalam memetakan pencemaran udara lokal yang seringkali mencapai 75% akibat emisi bahan bakar fosil di sektor transportasi dan industri. Analisis kualitas pengungkapan menunjukkan bahwa kedua perusahaan telah merujuk pada indikator GRI 305-1 hingga GRI 305-7, namun tingkat kepatuhan tidak sepenuhnya setara. PTTEP menunjukkan kelengkapan indikator yang lebih konsisten, termasuk:

1. penyajian intensitas emisi,
2. penjelasan metodologi perhitungan,
3. serta keterlibatan verifikasi pihak ketiga (*assurance*) pada laporan keberlanjutannya.

Sebaliknya, PHE telah memenuhi sebagian besar indikator GRI 305, tetapi masih ditemukan keterbatasan pada:

1. kejelasan metodologi perhitungan emisi,
2. serta belum konsistennya penyertaan *assurance* independen di seluruh periode pengamatan.

Perbedaan kualitas pengungkapan ini mencerminkan variasi tata kelola pelaporan keberlanjutan antara perusahaan migas nasional dan perusahaan migas regional yang telah lebih lama mengadopsi standar pelaporan internasional. Analisis kualitas pengungkapan menunjukkan bahwa kedua perusahaan telah merujuk pada indikator GRI 305, namun PTTEP lebih unggul dalam konsistensi data intensitas dan metodologi yang mendalam sejak awal periode pengamatan. PHE terus meningkatkan kualitas laporannya, terutama dalam merinci emisi per wilayah operasional (Regional 1-5) dan parameter gas (CH_4 , N_2O).

Tabel 3. Kepatuhan indikator GRI 305

Indikator GRI 305	PHE	PTTEP	Keterangan
305-1 Emisi Scope 1	Terpenuhi	Terpenuhi	Keduanya melaporkan secara absolut dan detail sumber emisi.
305-2 Emisi Scope 2	Terpenuhi	Terpenuhi	Keduanya melaporkan emisi dari pembelian listrik pihak ketiga.
305-3 Emisi Scope 3	Terpenuhi sebagian	Terbatas	PHE mulai merinci 4 kategori utama pada 2023-2024.

Indikator GRI 305	PHE	PTTEP	Keterangan
305-4 Intensitas Emisi	Terpenuhi	Terpenuhi	PTTEP menyajikan dalam % reduksi terhadap baseline, PHE dalam <i>tCO₂e/BOE</i> .
305-5 Pengurangan Emisi	Terpenuhi	Terpenuhi	Melaporkan volume reduksi dari inisiatif spesifik (flaring, efisiensi).
305-6 ODS	Terpenuhi	Tidak Terinci	PHE secara spesifik menyatakan tidak menghasilkan ODS pada 2024.
305-7 NO_x, SO_x, dll	Terpenuhi	Tidak Terinci	PHE merinci emisi konvensional dalam ribuan ton per tahun.

Kualitas pelaporan PHE menonjol dalam hal transparansi emisi udara konvensional (NO_x, SO_x, PM) dan penegasan terkait ODS (Zat Perusak Ozon), yang memberikan gambaran dampak lingkungan yang lebih komprehensif di luar pemanasan global. Sebaliknya, PTTEP lebih unggul dalam penyajian metodologi perhitungan yang terintegrasi dengan verifikasi pihak ketiga (assurance) sejak awal periode pelaporan. PHE juga menunjukkan progres signifikan dalam keterbukaan data Scope 3, yang mencakup rantai nilai dari penggunaan produk yang dijual, sebuah langkah maju yang belum terlihat secara rinci pada laporan PTTEP yang masih berfokus pada Scope 1 dan 2.

Target Net Zero Emission (NZE) dan Keselarasan dengan NDC Nasional

Penyelarasan target NZE PTTEP (2050) dan PHE (2060 atau lebih cepat) dengan NDC Nasional masing-masing negara adalah upaya untuk menjaga agar kenaikan suhu global tidak melampaui 1,5 °C. Tanpa komitmen tegas dari perusahaan energi, kenaikan suhu dipastikan akan terus melewati ambang batas tersebut di tahun-tahun mendatang. Roadmap NZE kedua perusahaan bukan sekadar pemenuhan regulasi, melainkan bentuk kesadaran moral terhadap kehidupan bumi di masa depan, mengingat keberadaan CO₂ yang terlalu banyak di atmosfer telah memicu bencana hidrometeorologi seperti banjir dan kekeringan yang semakin intens. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua perusahaan telah menyatakan komitmen menuju Net Zero Emission (NZE), namun dengan horizon dan tingkat kejelasan roadmap yang berbeda. PTTEP telah menetapkan:

1. target jangka menengah menuju 2030,
2. serta target jangka panjang Net Zero 2050, yang secara eksplisit diselaraskan dengan NDC Thailand.

Sementara itu, PHE menyelaraskan strategi dekarbonisasi dengan kebijakan nasional Indonesia yang menargetkan Net Zero Emission 2060, namun roadmap perusahaan masih bersifat normatif dan belum sepenuhnya diterjemahkan ke dalam target kuantitatif yang terukur. Perbedaan ini menunjukkan bahwa PTTEP memiliki kesiapan institusional yang lebih kuat dalam mengintegrasikan strategi perusahaan dengan

kebijakan iklim nasional, sedangkan PHE masih menghadapi tantangan dalam penyusunan peta jalan NZE yang operasional dan terukur.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua perusahaan telah menyatakan komitmen menuju Net Zero Emission (NZE) dengan horizon waktu dan strategi yang terintegrasi dengan kebijakan nasional masing-masing negara. PTTEP mengadopsi strategi "EP Net Zero 2050" yang menargetkan pencapaian emisi nol bersih pada tahun 2050. Target ini mencakup emisi Lingkup 1 dan Lingkup 2 dari bisnis eksplorasi dan produksi di bawah kendali operasionalnya. Strategi PTTEP ini secara eksplisit diselaraskan dengan target nasional Thailand untuk mencapai netralitas karbon pada 2050 dan emisi gas rumah kaca nol bersih pada 2065.

Sementara itu, PHE menyelaraskan strategi dekarbonisasinya dengan komitmen nasional Indonesia untuk mencapai NZE pada tahun 2060 atau lebih cepat. Berbeda dengan narasi awal, peta jalan dekarbonisasi PHE telah menyertakan target kuantitatif yang jelas, yakni target jangka pendek berupa reduksi emisi intensitas sebesar 32% pada tahun 2030. Hal ini menunjukkan bahwa PHE tidak hanya bersifat normatif, tetapi telah menerjemahkan visi nasional ke dalam indikator kinerja operasional perusahaan. Kedua perusahaan menunjukkan kesiapan institusional yang kuat, di mana PTTEP memiliki target tahun pencapaian yang lebih awal (2050) dibandingkan PHE (2060), selaras dengan ambisi jalur 1,5 derajat Celsius yang ditetapkan dalam NDC masing-masing negara.

Tabel 4. Target Net Zero Emission (NZE) dan keselarasan dengan NDC nasional

Aspek NZE	PHE	PTTEP	Catatan Analisis
Roadmap NZE	Berfokus pada tiga pilar utama: Karbon, Konservasi, dan Komunitas. Strategi dekarbonisasi sedang difinalisasi menuju peta jalan NZE yang komprehensif.	Menggunakan strategi "EP Net Zero 2050" dengan konsep "Portfolio Management" dan "Production and Planet in Balance".	Kedua perusahaan memiliki kerangka kerja strategis yang jelas untuk memandu transisi emisi.
Target Jangka Pendek (2030)	Reduksi intensitas emisi Lingkup 1 dan 2 sebesar 32% pada tahun 2030. Target tambahan: intensitas emisi metana di bawah 0,2% pada 2030.	Reduksi intensitas emisi minimal 30% pada tahun 2030 (menggunakan tahun dasar 2020).	PHE menetapkan angka target reduksi (32%) yang sedikit lebih tinggi daripada PTTEP (30%) untuk periode 2030.
Target Jangka Panjang (2050/2060)	Mencapai <i>Net Zero Emission</i> (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat.	Mencapai <i>Net Zero GHG Emissions</i> pada tahun 2050.	Target jangka panjang PTTEP 10 tahun lebih cepat dibandingkan PHE, selaras dengan jalur dekarbonisasi Thailand.

Aspek NZE	PHE	PTTEP	Catatan Analisis
Kesesuaian dengan NDC Nasional	Sangat selaras dengan <i>Enhanced NDC</i> Indonesia (target 32%) dan visi SNDC Indonesia menuju NZE 2060.	Mendukung target NDC 3.0 Thailand (reduksi emisi net 47% di 2035) dan visi nasional NZE 2050/2065.	Kedua perusahaan memposisikan diri sebagai kontributor utama dalam pencapaian target iklim nasional masing-masing negara.

Kedua perusahaan telah menyelaraskan visi bisnis mereka dengan jalur kenaikan suhu global 1,5°C yang diamanatkan dalam Perjanjian Paris. PTTEP memiliki target NZE yang lebih progresif (2050) dibandingkan PHE (2060), hal ini sejalan dengan target nasional Thailand yang lebih awal dalam mencapai netralitas karbon. Keselarasan PHE dengan NDC Indonesia terlihat jelas dari penetapan target reduksi 32% di tahun 2030, yang mencerminkan kontribusi sektor energi terhadap target mitigasi nasional. Meskipun horizon waktunya berbeda, baik PHE maupun PTTEP telah berhasil menggeser paradigma dari perusahaan ekstraktif murni menjadi entitas yang bertanggung jawab secara iklim dengan peta jalan yang terukur secara kuantitatif.

Transparansi Pengungkapan Emisi dan Teori Legitimasi

Temuan penelitian menunjukkan bahwa baik PHE maupun PTTEP memiliki tingkat kepatuhan yang tinggi terhadap standar GRI 305, terutama pada Scope 1 dan 2. Hal ini mengonfirmasi penelitian (Pratitri & Zulaikha, 2016) yang menyatakan bahwa karakteristik perusahaan (seperti ukuran besar dan profil risiko tinggi) serta penerapan sistem manajemen lingkungan berpengaruh positif terhadap transparansi pengungkapan emisi. PHE dan PTTEP, sebagai entitas National Oil Company (NOC) terbesar di negaranya masing-masing, menggunakan pelaporan keberlanjutan sebagai instrumen legitimasi untuk mempertahankan "izin sosial beroperasi" di tengah tekanan isu perubahan iklim.

Namun, terdapat perbedaan signifikan dalam kedalaman pelaporan Scope 3 dan assurance. PTTEP lebih unggul dalam verifikasi pihak ketiga dibandingkan PHE. Fenomena ini sejalan dengan teori yang dikemukakan Pratitri dan Zulaikha (2016) bahwa perusahaan dengan kinerja lingkungan yang lebih mapan (seperti ISO 14001 yang terintegrasi penuh) cenderung lebih berani membuka data secara transparan. Keterbatasan PHE dalam pelaporan Scope 3 secara menyeluruh mengindikasikan bahwa perusahaan masih dalam tahap transisi dari sekadar pemenuhan regulasi (compliance) menuju pengungkapan strategis yang komprehensif.

Efektivitas CCS/CCUS dalam Skenario Rendah Karbon: Thailand vs Indonesia

Strategi agresif PTTEP dalam mengimplementasikan CCS pada Proyek Arthit dan mencapai reduksi intensitas 53,8% pada 2024 membuktikan secara empiris proyeksi yang dilakukan oleh (Thepkhun et al., 2013). Satu dekade lalu, Thepkhun memprediksi bahwa target iklim Thailand tidak akan tercapai hanya dengan mengandalkan Energi Baru Terbarukan (EBT) atau efisiensi energi semata, melainkan mutlak memerlukan teknologi penangkap karbon (CCS) di sektor industri dan pembangkit. Langkah PTTEP menjadikan CCS sebagai tulang punggung strategi "EP Net Zero 2050" adalah validasi nyata atas studi tersebut, di mana PTT Group memegang peran sentral dalam eksekusi teknologi tinggi ini.

Sebaliknya, pendekatan PHE yang baru memulai pilot project CCS di Jatibarang dan lebih fokus pada Nature-based Solutions (NBS) mencerminkan hambatan struktural yang diidentifikasi oleh (Rudianto et al.,

2025). Dalam studinya, Rudianto menemukan bahwa meskipun CCS didukung secara kebijakan di Indonesia, implementasinya di sektor hulu migas terhambat oleh biaya investasi yang sangat tinggi (mencapai USD 60-100/ton) dan ketidakpastian regulasi nilai ekonomi karbon. Temuan ini menjelaskan mengapa PHE belum bisa seagresif PTTEP dalam skala implementasi CCS. PHE cenderung mengambil langkah "tunggu dan lihat" (wait and see) sembari menunggu insentif fiskal yang lebih kuat, sebagaimana direkomendasikan dalam studi Rudianto.

Transisi Energi dan Tantangan Dekarbonisasi Nasional

Peningkatan emisi absolut PHE pada tahun 2024 akibat akuisisi blok Rokan dan operasi PEPC JTB menyoroti dilema transisi energi di Indonesia. Hal ini selaras dengan analisis (Siregar, 2024) mengenai peta jalan (pathway) transisi energi Indonesia. Siregar menekankan bahwa sektor energi Indonesia menghadapi tantangan berat karena ketergantungan pada bahan bakar fosil yang masih tinggi untuk pembangunan ekonomi. Temuan bahwa PHE masih fokus pada efisiensi energi dan pengurangan flaring (sebagai low-hanging fruit) mendukung argumen Siregar bahwa CCS saat ini masih berposisi sebagai langkah "pelengkap" (supplementary) di Indonesia, bukan strategi utama, sampai elektrifikasi masif dan EBT mencapai skala keekonomian.

Berbeda dengan PTTEP yang berhasil menurunkan intensitas emisi secara drastis melalui diversifikasi ke hidrogen dan angin (Oman & UK), PHE masih berkutat pada optimalisasi aset fosil eksisting. Hal ini menunjukkan bahwa roadmap NZE PHE yang menargetkan 2060 (lebih lambat 10 tahun dari PTTEP) adalah refleksi realistis dari kondisi infrastruktur dan kesiapan teknologi nasional yang dipaparkan dalam studi Siregar (2024), di mana transisi di Indonesia membutuhkan waktu lebih panjang untuk menyeimbangkan ketahanan energi dan target iklim.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis komparatif yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Pertamina Hulu Energi (PHE) dan PTT Exploration and Production (PTTEP) telah menunjukkan komitmen kuat dalam transparansi pelaporan emisi dengan mengadopsi standar internasional GRI 305. Temuan utama menunjukkan bahwa meskipun kedua perusahaan mengandalkan emisi Scope 1 sebagai kontributor terbesar dari aktivitas operasional hulu migas, terdapat perbedaan signifikan dalam dinamika emisi absolut dan intensitasnya. PHE mengalami peningkatan emisi absolut yang bersifat struktural akibat ekspansi portofolio, seperti bergabungnya Wilayah Kerja Rokan dan Badak NGL ke dalam grup perusahaan. Sebaliknya, PTTEP menunjukkan performa reduksi intensitas emisi yang sangat agresif, di mana pada tahun 2024 perusahaan berhasil mencapai reduksi sebesar 53,8% dari tahun dasar 2020, sebuah pencapaian yang melampaui target jangka menengah delapan tahun lebih awal dari jadwal semula.

Strategi mitigasi kedua perusahaan juga mencerminkan prioritas yang disesuaikan dengan karakteristik geografis dan keunggulan kompetitif masing-masing. PHE menonjol dalam penerapan strategi mitigasi berbasis alam (Nature-based Solutions) melalui inisiatif Blue Carbon yang berfokus pada restorasi ekosistem mangrove di Delta Mahakam dan Pesisir Bontang untuk mengimbangi emisi operasional. Sementara itu, PTTEP lebih mengedepankan diversifikasi teknologi energi rendah karbon berskala global, termasuk investasi pada tenaga angin lepas pantai di Skotlandia dan pengembangan hidrogen hijau di Oman. Kedua entitas tersebut telah menetapkan teknologi Carbon Capture and Storage (CCS/CCUS) sebagai pilar transisi energi masa depan, dengan PTTEP berada pada tahap yang lebih matang melalui persiapan

operasional Proyek Arthit di Teluk Thailand , sedangkan PHE terus mengakselerasi implementasi percontohan di berbagai basin di Indonesia.

Komitmen Net Zero Emission (NZE) korporasi terbukti telah diselaraskan secara eksplisit dengan ambisi nasional masing-masing negara sebagaimana tercantum dalam dokumen Nationally Determined Contribution (NDC). PTTEP menargetkan pencapaian NZE pada tahun 2050 selaras dengan target netralitas karbon Thailand , sementara PHE menargetkan tahun 2060 atau lebih cepat sesuai dengan peta jalan transisi energi Indonesia. Integrasi antara strategi korporasi dan kebijakan iklim nasional ini menjadi faktor krusial dalam memastikan keberlanjutan industri hulu migas di kawasan Asia Tenggara di tengah tekanan transisi energi global.

REFERENCES

- Bagheri, B. (2023). *Corporate social responsibility reporting and performance: Will the oil and gas sector join the energy transition?* [Doctoral dissertation, ProQuest Dissertations Publishing]. <https://search.proquest.com/openview/2f865ac14e481456c51cb8845cac8d21/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Cherepovitsyna, A., Sheveleva, N., & Riadinskaia, A. (2023). Decarbonization measures: A real effect or just a declaration? An assessment of oil and gas companies' progress towards carbon neutrality. *Energies*, 16(8), 3575. <https://doi.org/10.3390/en16083575>
- Dev, A., & Selvaraj, A. (2025). *Key performance indicators supporting the green transition in manufacturing companies* [Master's thesis, Mälardalen University]. DiVA Portal. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:2002358>
- Egbumokei, P. I., & Dienagha, I. N. (2024). *Sustainable business strategies for decarbonizing the oil and gas industry: A roadmap to net-zero emissions*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/388017574_Sustainable_business_strategies_for_decarbonizing_the_oil_and_gas_industry_A_roadmap_to_netzero_emissions
- Global Reporting Initiative. (2024). *Universal standards 2024*. <https://www.globalreporting.org/how-to-use-the-gri-standards/gri-standards-english-language>
- Handojo, S. R., & Sukoharsono, E. G. (2025). Compliance of disclosure of material topics in sustainability report GRI standard: Content study. *TIARA: Journal of Accounting and Finance*, 3(1). <https://tiara.ub.ac.id/index.php/tiara/article/view/174>
- Herbert, W. E., Nwaorgu, I. A., & Onyilo, F. (2021). Sustainability reporting and performance of listed upstream oil and gas firms in Nigeria: A content evaluation approach. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(6), 128–138. https://www.researchgate.net/publication/346830883_Sustainability_Reporting_and_Performance_of_Listed_Upstream_Oil_and_Gas_Firms_in_Nigeria_A_Content_Evaluation_Approach.pdf
- Jordan, A., Huitema, D., & van Asselt, H. (2021). *Governing climate change: Polycentricity in action*. Cambridge University Press. https://www.researchgate.net/publication/325012902_Governing_Climate_Change_Polycentricity_in_Action
- Jumairi, F., Bambang, A. N., & Hidayat, J. W. (2017). *Jejak ekologi, energi dan emisi gas rumah kaca (GRK) pada pemenuhan kebutuhan kayu gergajian masyarakat Kota Solok* [Tesis Magister, School of Postgraduate].

- Kehinde, F. H. (2024). Influence of corporate governance on environmental accounting disclosure of listed oil and gas companies. *Journal of Accounting, Research, and Economics Studies*, 11(4). http://www.jare-sh.com/downloads/nov_2024/kehinde.pdf
- Kumar, A. S. (2023). *Shaping sustainability strategies: A comprehensive analysis of greenhouse gas reporting in the oil and gas sector and its strategic implications* [Master's thesis, Chalmers University of Technology]. Chalmers ODR. <https://odr.chalmers.se/bitstreams/6de25d5ec003-432c-901a-40246f261117/download>
- Kwarto, F., Nurafiah, N., & Suharman, H. (2024). The potential bias for sustainability reporting of global upstream oil and gas companies: A systematic literature review of the evidence. *Journal of Business Economics and Ethics*, 37(2), 113–130. <https://doi.org/10.1007/s11301-022-00292-7>
- Newell, P. (2021). *Global green politics*. Polity Press. <https://www.cambridge.org/core/books/global-green-politics/DFDB291544D660807E364F22E66865FE>
- Prafitri, A., & Zulaikha. (2016). Analisis pengungkapan emisi gas rumah kaca. *Jurnal Akuntansi & Auditing*, 13(2), 155–175.
- Rimbono, R., Supriatna, J., Koestoer, R. H. S., & Hamzah, U. S. (2025). Bridging the gap: Multi-stakeholder perspectives on the role of carbon capture and storage (CCS)/carbon capture utilization and storage (CCUS) in achieving Indonesia's net zero emissions. *Sustainability*, 17, 5935. <https://doi.org/10.3390/su17135935>
- Samiei, K. (2024). *Trends in sustainability reporting: A case study of European oil and gas companies* [Master's thesis, University of Iceland]. Skemman. https://skemman.is/bitstream/1946/46964/1/Thesis_Khadijeh_Samiei.pdf
- Siregar, Y. I. (2024). Pathways towards net-zero emissions in Indonesia's energy sector. *Energy*, 308, 133014. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133014>
- Thepkhun, P., Limmeechokchai, B., Fujimori, S., Masui, T., & Shrestha, R. M. (2013). Thailand's low-carbon scenario 2050: The AIM/CGE analyses of CO₂ mitigation measures. *Energy Policy*, 62, 561–572.
- van Soest, H. L., den Elzen, M. G. J., & van Vuuren, D. P. (2021). Net-zero emission targets for major emitting countries consistent with the Paris Agreement. *Nature Communications*, 12, Article 2140.
- Wahyudi, J. (2016). Mitigasi emisi gas rumah kaca. *Jurnal Litbang*, 12(2), 104–112.
- Wijaya, A., & Novianto, R. A. (2024). Analisis hubungan kepatuhan laporan keberlanjutan terhadap peraturan OJK dengan kinerja perusahaan. *Owner*, 8(4). <https://doi.org/10.33395/owner.v8i4.2348>
- Wood, D. A. (2022). Sustainability challenges for the upstream sectors of the natural gas industry. In *Sustainable development of unconventional resources* (pp. 133–156). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128244951000073>