

Dampak Mekanisme Perdagangan Karbon di Pasar Modal Indonesia: Membuat Portofolio Optimal Model Markowitz

Susan Fatmawati¹, Wahyu Andriyadi², Ahmad Sigit Febriyanto³

¹Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Balikpapan, Indonesia

^{2,3}Universitas Gadjah Mada, Indonesia

E-mail: susan@stiebalikpapan.ac.id

Article History:

Received: 06 Oktober 2025

Revised: 25 Oktober 2025

Accepted: 02 November 2025

Keywords: *Perdagangan Karbon, Portofolio Optimal, Markowitz Model*

Abstract: *Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak mekanisme perdagangan karbon di pasar modal Indonesia terhadap pembentukan portofolio optimal dengan menggunakan Model Markowitz pada emiten di Bursa Efek Indonesia yang menghasilkan emisi di tahun 2022. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-eksplanatori. Hasil penelitian menunjukkan bahwa portofolio optimal bagi investor dengan tingkat toleransi risiko tinggi (risk taker) menghasilkan komposisi saham yang berbeda dibandingkan dengan investor yang cenderung menghindari risiko (risk averse). Adanya proporsi negatif pada beberapa saham juga menandakan kemungkinan penerapan strategi short selling.*

PENDAHULUAN

Perubahan iklim dan pemanasan global menjadi salah satu isu global yang urgen dan mempengaruhi keberlanjutan bumi. Penyebab utama dari perubahan iklim yang berdampak pada lingkungan, kesehatan manusia, dan ekonomi global adalah meningkatnya emisi gas rumah kaca yang terus terjadi setiap harinya (IPCC, 2021; Lamb et al., 2021). Upaya internasional dilakukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mencapai tujuan perlindungan iklim. Hal ini dimulai dengan mengadopsi Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) pada konferensi Earth Summit di Rio de Janeiro pada tahun 1992 (UNFCCC, 1992). Konvensi tersebut menjadi landasan yang kuat untuk mengambil tindakan di masa depan dalam mengatasi perubahan iklim. Upaya internasional lainnya dilakukan dengan mengadopsi Mandat Berlin pada tahun 1995 yang menekankan pada proses pengambilan tindakan, termasuk penguatan komitmen negara-negara maju melalui adopsi protokol atau instrumen legal lainnya (UNFCCC, 1995).

Protokol Kyoto dibentuk dengan tujuan mengatasi masalah pengurangan emisi gas rumah kaca melalui tiga mekanisme pasar: Joint Implementation (JI), Emission Trading (ET), dan Clean Development Mechanism (CDM) (UNFCCC, 1997). Protokol Kyoto mengatur dan mewajibkan negara-negara maju (Annex I) untuk dapat mengurangi emisinya dengan target sebesar 5% di bawah tingkat emisi tahun 1990 pada periode komitmen pertama (2008-2012), sedangkan negara berkembang (non-Annex I) tidak memiliki kewajiban pengurangan emisi yang mengikat (Grubb et al., 2003). Menurut mekanisme CDM, negara maju dapat mensponsori proyek pengurangan

emisi gas rumah kaca di negara berkembang di mana biaya proyek pengurangan emisi biasanya jauh lebih rendah, tetapi efeknya terhadap atmosfer setara secara global. Proyek yang valid menghasilkan Certified Emission Reduction (CER) untuk investor, sedangkan negara tuan rumah menerima dana investasi tambahan sesuai dengan pengurangan karbon yang setara dengan gas rumah kaca (Michaelowa & Jotzo, 2005).

Perdagangan karbon adalah mekanisme pasar di mana emisi gas rumah kaca diatur dan diperdagangkan dalam bentuk izin emisi atau unit emisi. Tujuan utama dari perdagangan karbon ini adalah untuk mendorong pengurangan emisi gas rumah kaca secara ekonomis efisien dan memberikan insentif bagi pelaku industri untuk mengadopsi teknologi yang lebih bersih dan berkelanjutan (Martin et al., 2016; Borghesi et al., 2020). Oleh karena itu, berbagai pihak menganjurkan pengembangan perdagangan karbon karena dipandang dapat menurunkan emisi gas rumah kaca dengan biaya ekonomi yang lebih efisien. Perdagangan karbon juga menunjukkan peningkatan signifikan dalam beberapa tahun terakhir dengan implementasi di berbagai yurisdiksi global (Narassimhan et al., 2018; Li et al., 2023). Coherent Market Insights memprediksi bahwa pasar karbon global akan mencapai nilai US\$ 2.407,8 miliar pada tahun 2027 (Coherent Market Insights, 2022).

Di Indonesia, perdagangan karbon pada subsektor pembangkit listrik diluncurkan secara resmi pada tahun 2023, dengan perluasan cakupan pada tahun 2024 untuk mencakup instalasi dengan kapasitas 25 MW atau lebih sebagai upaya mencapai net zero emission dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Sektor pembangkit listrik Indonesia yang sangat bergantung pada batu bara menjadi krusial dalam pencapaian target NZE negara, sehingga efisiensi mekanisme pajak karbon dan perdagangan karbon sangat penting dalam mitigasi emisi CO₂ (Purwanto et al., 2025). Pelaksanaan perdagangan karbon tersebut diharapkan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29-41% pada tahun 2030 dibandingkan dengan tingkat emisi baseline (Prihartini et al., 2025). Sebagai respons terhadap peluang ini, Indonesia mengadopsi strategi dengan menjadikan perdagangan karbon sebagai alat kebijakan di sektor energi yang memiliki dua sasaran utama: mereduksi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga batu bara dan memberikan dorongan investasi melalui insentif karbon untuk pengembangan energi terbarukan dan efisiensi energi (Handayani & Fitriana, 2023).

Emiten yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia (BEI) yang aktivitas bisnisnya menghasilkan emisi karbon yang tinggi dapat terdorong untuk berpartisipasi dalam perdagangan karbon yang dicanangkan pemerintah. Hal ini karena adanya beberapa keuntungan signifikan yang bisa mereka dapatkan yang muaranya kemudian dapat meningkatkan nilai dan menjamin keberlanjutan bisnis perusahaan. Dengan demikian, pilihan berinvestasi pada saham beberapa emiten-emiten tersebut dapat dipertimbangkan karena akan memberikan tingkat pengembalian investasi yang menjanjikan di masa mendatang bagi investor. Pertanyaannya adalah emiten mana saja yang sahamnya harus dipilih atau bagaimana komposisi atau portofolio optimal saham yang dapat memberikan tingkat pengembalian investasi atau *return* yang tinggi dengan tetap mempertimbangkan risiko investasinya. Untuk menjawab hal tersebut, Model Markowitz dapat digunakan dalam menentukan portofolio optimal dari saham-saham yang ada.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengeksplorasi optimalisasi portofolio menggunakan Model Markowitz dengan berbagai pendekatan. Chaweewanchon & Chaysiri, (2022), mengintegrasikan prediksi machine learning (CNN-BiLSTM) dengan Model Markowitz menunjukkan bahwa kualitas aset input sebelum optimisasi dapat meningkatkan performa portofolio. Zhou, 2024 menerapkan Model Markowitz dalam manajemen portofolio saham di bawah kerangka ESG menunjukkan pentingnya alokasi aset strategis dalam menghadapi

volatilitas pasar. Chang et al., (2025) menggunakan multiple-objective portfolio selection untuk investasi carbon offset menunjukkan bahwa carbon offset memiliki aspek multifaset (bisnis, sosial, ekonomi, dan lingkungan) yang memerlukan model lebih advanced daripada sekadar portfolio selection. Meskipun telah banyak penelitian mengenai optimalisasi portofolio menggunakan Model Markowitz dan penelitian tentang pasar karbon Indonesia, namun masih sedikit yang mengeksplorasi bagaimana emiten-emiten di Bursa Efek Indonesia yang menghasilkan emisi karbon tinggi dapat membentuk portofolio optimal dalam konteks implementasi perdagangan karbon domestic. Penelitian ini memberikan kontribusi dengan mengaplikasikan Model Markowitz klasik untuk mengidentifikasi portofolio optimal bagi investor dengan profil risiko berbeda (*risk taker vs risk averse*) dalam konteks peluang ekonomi dari perdagangan karbon di Indonesia.

KAJIAN TEORI

Mekanisme Perdagangan Karbon

Mekanisme pasar karbon adalah instrumen yang beroperasi berdasarkan prinsip pasar dan merupakan salah satu skema pendanaan yang signifikan, baik dari segi kemampuannya mengurangi emisi gas rumah kaca maupun efisiensi biaya yang dihasilkan (Narassimhan et al., 2018). Mekanisme perdagangan karbon merupakan sebuah sistem yang dirancang untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dengan cara mengalokasikan dan menukar hak untuk menghasilkan emisi antara berbagai entitas ekonomi. Dalam pasar karbon, unit-unit kredit karbon yang melambangkan pengurangan emisi diperdagangkan berdasarkan kerangka kerja tertentu, di mana sistem perdagangan emisi memberlakukan batas maksimum terhadap total emisi atau intensitas emisi sesuai ketentuan United Nations Framework Convention on Climate Change (Narassimhan et al., 2018). Skema pasar karbon mengimplementasikan mekanisme kuota atau tunjangan (*allowance*), yang mengalokasikan batas emisi spesifik kepada masing-masing entitas penghasil emisi karbon. Entitas yang produksi emisinya melampaui kuota yang dialokasikan diwajibkan untuk memperoleh izin emisi atas setiap ton gas rumah kaca yang dihasilkan, dengan alternatif membeli kredit dari entitas lain yang belum menggunakan keseluruhan kuotanya (Ellerman et al., 2010; Dechezleprêtre et al., 2023).

Sebagai instrumen pasar, penetapan nilai ekonomi karbon (*carbon pricing/valuation*) menjadi basis fundamental dalam implementasi perdagangan karbon. Penetapan harga karbon dapat diimplementasikan dengan menggunakan salah satu dari dua instrumen utama: pajak karbon atau sistem perdagangan emisi gas rumah kaca (Haites, 2018). Dua skema penetapan harga karbon yang lazim diimplementasikan oleh negara-negara di dunia telah diidentifikasi oleh World Bank (2023), meliputi *emission trading system* atau *cap-and-trade system* dan *carbon tax* (pajak karbon). Sementara itu, Aldy dan Stavins (2012) menyampaikan bahwa terdapat lima instrumen yang dapat digunakan pemerintah untuk penetapan harga karbon, yaitu pajak karbon, *cap-and-trade*, kredit pengurangan emisi, standar energi bersih, dan pengurangan subsidi bahan bakar fosil.

Dalam mekanisme pajak karbon, penentuan harga karbon dilakukan dengan menetapkan tarif pajak atas setiap emisi karbon yang dihasilkan. Tarif pajak dan sumber-sumber yang akan dikenakan pajak ditetapkan oleh pemerintah, sedangkan tingkat pengurangan emisi yang tercapai dipengaruhi oleh respons dari entitas yang terkena dampak kebijakan tersebut (Martin et al., 2014). Dalam mekanisme *cap-and-trade system*, bagian perdagangan merupakan pasar bagi perusahaan untuk membeli dan menjual izin emisi yang memungkinkan mereka mengeluarkan emisi dalam jumlah tertentu, dengan harga ditentukan oleh penawaran dan permintaan,

memberikan insentif kuat bagi perusahaan untuk menghemat biaya dengan mengurangi emisi dengan cara yang paling efektif dari segi biaya. Perusahaan yang produksi emisinya melebihi kuota yang dialokasikan wajib memperoleh hak emisi tambahan melalui transaksi dengan perusahaan lain yang tingkat emisi karbonnya masih berada di bawah batas yang ditetapkan (Goulder & Schein, 2013; Fell & Maniloff, 2018).

Dalam mekanisme kredit pengurangan emisi (*crediting mechanism*), sertifikat yang dapat diperdagangkan diterbitkan untuk pengurangan emisi aktual yang dicapai, di mana sertifikat diterbitkan ketika emisi aktual secara terverifikasi dikurangi di bawah baseline Mechanisms under the Kyoto Protocol. Sertifikat atau kredit tersebut merupakan aset yang memiliki nilai ekonomis karena dapat ditransaksikan kepada perusahaan lain yang memerlukan kredit atau diakumulasikan untuk keperluan perusahaan pada periode mendatang (Michaelowa et al., 2019; Schneider et al., 2019). Dalam mekanisme standar energi bersih (*clean energy standard*), pemerintah memiliki kewajiban untuk menetapkan standar yang merumuskan kriteria teknologi ramah lingkungan yang seharusnya diadopsi oleh perusahaan. Dalam mekanisme pengurangan subsidi bahan bakar fosil, penghapusan subsidi bahan bakar fosil dan pengenalan penetapan harga karbon dapat berkontribusi pada pengurangan emisi, terutama dalam kaitannya dengan dampak tidak langsung dari daur ulang pendapatan (Gerasimchuk et al., 2023). Setiap negara harus mengurangi subsidi atas bahan bakar fosil untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil sehingga emisi karbon akan berkurang signifikan. Mekanisme penentuan nilai ekonomi karbon atau harga karbon yang sering digunakan adalah sistem perdagangan emisi (*emission trading system* atau *cap-and-trade system*), pajak karbon, dan mekanisme kredit karbon (Löfgren et al., 2018).

Klasifikasi pasar karbon berdasarkan dasar pembentukannya terbagi menjadi dua kategori, yaitu *Voluntary Carbon Market* (VCM) atau pasar karbon sukarela dan *Compliance Carbon Market* (CCM) atau pasar karbon wajib. Pasar karbon sukarela muncul bersamaan dengan pasar kepatuhan untuk memungkinkan perusahaan dan individu mengambil tanggung jawab atas emisi mereka dengan mendukung secara finansial proyek iklim melalui perdagangan dan pembelian *Verified Emission Reductions* (VER) di VCM (Donofrio et al., 2023). Pasar karbon sukarela mencakup semua transaksi karbon di luar pasar karbon aktif yang diatur oleh pemerintah, yaitu penerbitan, pembelian, dan penjualan kredit karbon secara sukarela (Kreibich & Hermwille, 2021). Pasar kepatuhan saat ini dinilai lebih dari \$800 miliar, sedangkan VCM dinilai sekitar \$2 miliar. Sementara itu, pasar karbon wajib terbentuk karena adanya regulasi yang mengatur permintaan dan dibatasi oleh hukum, berbeda dengan pasar karbon sukarela di mana permintaan bersifat bebas dan tidak diatur, dengan menerapkan mekanisme *cap-and-trade* dalam pengurangan dan/atau pembatasan jumlah emisi GRK yang dikeluarkan (Song et al., 2022; Katadata Insight Center, 2022).

Berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021, perdagangan karbon adalah mekanisme berbasis pasar untuk mengurangi emisi gas rumah kaca melalui kegiatan jual beli unit karbon (Republik Indonesia, 2021). Perdagangan karbon baik di tingkat domestik maupun internasional diimplementasikan melalui dua mekanisme, yaitu perdagangan emisi (*emission trading*) dan *offset* emisi gas rumah kaca. Mekanisme perdagangan emisi merupakan sistem transaksi antara entitas usaha yang produksi emisinya melampaui ambang batas yang ditetapkan dengan entitas usaha lain yang masih memiliki surplus kuota emisi. Sementara itu, mekanisme *offset* emisi gas rumah kaca diaplikasikan ketika suatu usaha dan/atau kegiatan yang tidak terikat pada batas atas emisi gas rumah kaca melakukan deklarasi pengurangan emisi dengan memanfaatkan hasil aksi mitigasi dari usaha dan/atau kegiatan lain (Prihartini et al., 2025).

Implementasi mekanisme perdagangan karbon ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengurangan emisi melalui fleksibilitas pasar dan mendorong inovasi teknologi rendah karbon di Indonesia (Handayani & Fitriana, 2023; Purwanto et al., 2025).

Urgensi Perdagangan Karbon

Perdagangan karbon merupakan salah satu upaya dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dalam rangka mengatasi tantangan perubahan iklim dan menjaga keberlanjutan lingkungan, dengan cara memperdagangkan hak untuk mengeluarkan emisi karbon (World Bank, 2022). Indonesia menjadi salah satu negara dengan tingkat emisi gas rumah kaca yang signifikan, terutama dari sektor deforestasi dan pembakaran bahan bakar fosil untuk energi. Dua sektor teratas yang berkontribusi terhadap emisi negara adalah kehutanan dan energi, dengan emisi dari deforestasi dan pembangkit listrik (Kusuma et al., 2022). Perdagangan karbon memberikan insentif bagi perusahaan dan proyek untuk mengurangi gas rumah kaca dengan mengembangkan solusi dan teknologi rendah karbon (Zhang et al., 2022; Huang et al., 2024).

Skema perdagangan karbon merupakan instrumen pengendalian pemanasan global yang bersumber dari emisi gas rumah kaca. Melalui skema ini, negara maju dapat merealisasikan target reduksi emisi dengan struktur biaya yang relatif efisien, sementara negara berkembang memperoleh manfaat ekonomi melalui transaksi sertifikat karbon (Michaelowa & Jotzo, 2005). Dalam perdagangan karbon, negara yang berhasil mengurangi emisi karbon dari kegiatan mitigasi perubahan iklim akan diberikan sertifikat karbon atau *Certified Emission Reduction* (CER). Dengan demikian, skema tersebut dapat mengimbangi (*offset*) emisi yang telah atau akan dihasilkan (Purwanto et al., 2021; Li et al., 2023).

Perdagangan karbon akan menciptakan peluang investasi baru terkait proyek hijau dan menjadi stimulus ekonomi bagi Indonesia (Handayani & Fitriana, 2023). Sistem perdagangan emisi karbon secara signifikan meningkatkan produktivitas total faktor regional, terutama dengan mengoptimalkan efisiensi alokasi sumber daya dan memperkuat daya saing regional (Wang et al., 2025). itinjau dari dimensi pembangunan, implementasi perdagangan karbon dapat berkontribusi terhadap pengembangan pasar karbon, stimulasi inovasi teknologi, dan peningkatan efisiensi investasi yang berorientasi pada pengurangan emisi karbon dan keberlanjutan lingkungan (Song et al., 2024; Lin et al., 2024). Kebijakan perdagangan karbon dapat merangsang inovasi hijau dengan mengurangi keterbatasan finansial dan meningkatkan investasi riset dan pengembangan perusahaan (Zhou et al., 2024). Indonesia dapat menarik investor dalam sektor energi terbarukan, pengelolaan limbah, efisiensi energi, dan sektor-sektor berkelanjutan lainnya (Dewi et al., 2024). Transisi menuju energi terbarukan dan efisiensi energi dalam beberapa dekade mendatang kemungkinan akan menghasilkan penciptaan lapangan kerja bersih yang positif dan pertumbuhan ekonomi yang moderat (Ram et al., 2024). Hal ini akan meningkatkan peluang bagi banyak pihak yang terkait dengan perdagangan karbon, seperti menciptakan lapangan kerja, mendorong pertumbuhan ekonomi, dan transisi menuju ekonomi rendah karbon (OECD, 2020; Mardani et al., 2023).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-eksplanatori. Tujuannya untuk menganalisis dampak mekanisme perdagangan karbon di pasar modal Indonesia terhadap pembentukan portofolio optimal dengan menggunakan Model Markowitz. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber resmi. Data mengenai

indeks atau instrumen perdagangan karbon, serta regulasi terkait, diperoleh dari Indeks LQ45, Otoritas Jasa Keuangan (OJK), maupun publikasi Bursa Efek Indonesia. Selain itu, laporan dan dokumen kebijakan mengenai mekanisme perdagangan karbon juga digunakan sebagai pelengkap.

Populasi penelitian ini adalah emiten di Bursa Efek Indonesia yang menghasilkan emisi tahun 2022. Sampel penelitian ditentukan menggunakan teknik purposive sampling, yaitu Emiten yang memiliki nilai *return* ekspektasiannya tidak negatif yang terseleksi sebanyak 10 saham.

Tabel 1. *Daftar Populasi*

Emiten	Total Emisi (ton CO ₂ e)
Adaro Energy Indonesia (ADRO)	1.280.505
Aneka Tambang (ANTM)	1.611.396
Vale Indonesia (INCO)	1.640.387
Indocement Tunggal Prakarsa (INTP)	11.220.000
Indo Tambangraya Megah (ITMG)	1.540.370
Perusahaan Gas Negara (PGAS)	Tidak dipublikasi*
Bukit Asam (PTBA)	828.914
Semen Indonesia (SMGR)	23.036.305
Indah Kiat Pulp & Paper	> 10.000.000
Elnusa (ELSA)	122.799
Medco Energi Internasional (MEDC)	4.369.537
Chandra Asri Petrochemical (TPIA)	2.061.020
Waskita Beton Precast (WSBP)	15.865.

Sumber: Bursa Efek Indonesia

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahap. Pertama, menghitung return mengumpulkan data return realisasian saham. Kedua, menghitung risiko individual saham melalui varians dan standar deviasi, serta kovarians antar saham untuk mengetahui hubungan antar aset. Ketiga, membentuk portofolio optimal dengan Model Markowitz melalui mean-variance optimization. Dalam tahap ini, expected return portofolio, risiko portofolio, dan proporsi portofolio ditentukan dengan bantuan perangkat lunak yaitu Microsoft Excel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan Portofolio Optimal dengan Model Markowitz

Berdasarkan emiten-emiten yang sahamnya memiliki prospek cerah untuk diinvestasikan atau dibeli terseleksi sebanyak 10 saham dengan pilihan nilai return ekspektasiannya tidak negatif. Adapun emiten yang tidak terseleksi karena nilai return ekspektasiannya negatif yaitu Indocement Tunggul Prakarsa (INTP), Semen Indonesia (SMGR) dan Waskita Beton Precast (WSBP), dengan menggunakan aplikasi Ms. Excel, maka langkah-langkah dalam membuat portofolio optimal Model Markowitz menurut Jogiyanto (2014) dapat dijabarkan sebagai berikut:

- 1) Mengumpulkan data return realisasian saham bulanan emiten dengan periode waktu 01 Januari 2020 s.d 01 Desember 2022 (n=36).

Tabel 2. *Return Realisasian Saham Emiten*

Periode	ADRO	ANTM	INCO	ITMG	PGAS	PTBA	INKP	ELSA	MEDC	TPIA
Dec 01, 2022	-0,52%	0,00%	-3,73%	-6,53%	-6,38%	-2,89%	-12,75%	-4,88%	-4,69%	7,53%
Nov 01, 2022	-2,76%	7,59%	13,46%	-7,33%	-4,81%	-2,81%	4,17%	-12,77%	-7,79%	-2,05%
Oct 01, 2022	0,51%	-4,90%	1,56%	8,75%	12,54%	-6,24%	6,08%	22,08%	26,23%	1,67%
Sep 01, 2022	11,86%	-2,51%	4,92%	5,41%	-4,62%	-1,88%	8,71%	-3,14%	6,40%	-1,64%
Aug 01, 2022	8,92%	1,79%	0,00%	-0,76%	9,52%	-1,16%	9,54%	5,30%	40,98%	2,74%
Jul 01, 2022	13,64%	8,61%	7,96%	29,10%	5,66%	12,57%	0,00%	0,00%	-3,94%	5,56%
Jun 01, 2022	-12,54%	-28,29%	-31,31%	-12,36%	-11,67%	-15,67%	-7,88%	-1,95%	8,55%	-11,97%
May 01, 2022	-2,10%	-3,46%	12,67%	23,24%	24,14%	18,59%	8,91%	5,48%	6,36%	1,75%
Apr 01, 2022	24,16%	6,56%	8,96%	-0,53%	3,20%	16,11%	-4,11%	-0,68%	-0,90%	-0,51%
Mar 01, 2022	9,80%	9,91%	24,07%	7,03%	-2,43%	4,78%	-2,17%	-5,77%	-7,50%	11,92%
Feb 01, 2022	9,38%	25,42%	14,65%	23,21%	4,35%	10,18%	6,25%	13,04%	8,11%	2,27%
Jan 01, 2022	-0,44%	-21,33%	0,64%	6,13%	0,36%	5,17%	-2,88%	0,00%	19,10%	20,48%
Dec 01, 2021	32,35%	-2,17%	-2,30%	-5,34%	-8,33%	4,23%	3,64%	-0,72%	-2,51%	3,56%
Nov 01, 2021	1,19%	-1,71%	-1,24%	-0,23%	-0,66%	-2,99%	-10,91%	-8,55%	-16,14%	-6,95%
Oct 01, 2021	-4,55%	2,18%	5,66%	3,85%	26,89%	-2,90%	-1,17%	-0,65%	3,64%	5,56%
Sep 01, 2021	39,68%	-4,18%	-9,56%	30,00%	14,98%	30,81%	8,54%	17,69%	15,55%	-8,26%
Aug 01, 2021	-5,62%	-5,16%	-7,73%	-5,60%	6,15%	-5,38%	16,18%	-0,76%	-2,46%	-16,51%
Jul 01, 2021	10,79%	9,57%	19,31%	19,37%	-2,99%	11,50%	-8,72%	-1,50%	-23,75%	-4,32%
Jun 01, 2021	1,26%	-6,12%	-2,54%	9,86%	-9,87%	-9,50%	-12,35%	-12,50%	-7,25%	23,98%
May 01, 2021	-4,42%	-1,61%	2,60%	8,84%	-8,98%	-6,75%	-6,59%	-14,61%	21,05%	-21,33%
Apr 01, 2021	5,96%	10,67%	5,25%	3,94%	-6,84%	-9,54%	-12,92%	3,49%	0,00%	-9,46%
Mar 01, 2021	-0,42%	-20,77%	-27,90%	-6,35%	-8,68%	-3,32%	-20,68%	-14,43%	-17,99%	14,12%
Feb 01, 2021	-1,67%	27,93%	10,45%	-0,41%	7,06%	5,04%	2,13%	12,29%	6,92%	-4,17%
Jan 01, 2021	-16,08%	14,73%	7,84%	-11,55%	-18,73%	-8,19%	23,74%	1,70%	10,17%	12,13%
Dec 01, 2020	2,88%	69,00%	10,63%	5,73%	19,06%	19,07%	20,17%	19,73%	18,47%	-2,45%
Nov 01, 2020	23,56%	8,53%	13,83%	61,23%	29,30%	20,41%	-4,93%	38,68%	30,37%	16,25%
Oct 01, 2020	-0,88%	49,65%	13,76%	-0,31%	16,22%	-0,51%	1,67%	9,28%	13,02%	11,11%
Sep 01, 2020	4,61%	-14,02%	-6,07%	-1,51%	-26,29%	-3,43%	-3,49%	-20,49%	-27,31%	1,07%
Aug 01, 2020	0,00%	12,33%	10,82%	4,75%	-0,79%	0,49%	19,23%	7,02%	18,62%	-2,73%
Jul 01, 2020	9,05%	20,66%	22,14%	11,27%	11,45%	0,50%	30,54%	3,64%	2,62%	11,44%
Jun 01, 2020	-9,55%	13,08%	0,72%	-12,35%	31,98%	3,86%	13,81%	11,68%	2,69%	-10,27%
May 01, 2020	19,57%	4,90%	8,17%	12,50%	0,58%	3,73%	5,41%	0,51%	-2,11%	-18,37%
Apr 01, 2020	-7,07%	13,33%	18,98%	-11,11%	10,32%	-13,99%	38,40%	29,80%	16,56%	70,96%
Mar 01, 2020	-14,29%	-21,74%	-11,84%	-28,32%	-39,45%	-2,68%	-28,71%	-27,40%	-38,84%	-34,40%
Feb 01, 2020	-5,71%	-20,14%	-22,47%	12,44%	-24,93%	1,36%	-16,67%	-23,53%	-10,57%	-8,80%
Jan 01, 2020	-21,22%	-14,29%	-13,19%	-12,42%	-21,43%	-16,92%	-12,34%	-11,11%	-18,58%	-15,43%

- 2) Menghitung return ekspektasian, standar deviasi dan *coefficient variation* (CV) saham masing-masing emiten

Tabel 3. *Return Ekspektasian, Standar Deviasi dan Coefficient Variation Saham Emiten*

	ADRO	ANTM	INCO	ITMG	PGAS	PTBA	INKP	ELSA	MEDC	TPIA
Return										
Ekspektasian	0,0331	0,0400	0,0276	0,0455	0,0072	0,0143	0,0131	0,0100	0,0231	0,0124
Std. Deviasi	0,1284	0,1893	0,1287	0,1565	0,1576	0,1046	0,1408	0,1390	0,1647	0,1684
CV	3,8745	4,7321	4,6700	3,4427	21,9110	7,2931	10,7746	13,9177	7,1352	13,6288

3) Membuat matriks varian-kovarian masing-masing emiten

Tabel 4. *Matriks varian-kovarian Emiten*

Var-Covarian	ADRO	ANTM	INCO	ITMG	PGAS	PTBA	INKP	ELSA	MEDC	TPIA
ADRO	0,0165	0,0034	0,0042	0,0120	0,0060	0,0092	0,0009	0,0057	0,0041	0,0013
ANTM	0,0034	0,0358	0,0167	0,0050	0,0152	0,0065	0,0137	0,0141	0,0107	0,0060
INCO	0,0042	0,0167	0,0166	0,0070	0,0096	0,0043	0,0094	0,0085	0,0059	0,0078
ITMG	0,0120	0,0050	0,0070	0,0245	0,0117	0,0109	0,0008	0,0101	0,0093	0,0033
PGAS	0,0060	0,0152	0,0096	0,0117	0,0248	0,0080	0,0112	0,0170	0,0159	0,0076
PTBA	0,0092	0,0065	0,0043	0,0109	0,0080	0,0109	0,0015	0,0056	0,0033	-0,0013
INKP	0,0009	0,0137	0,0094	0,0008	0,0112	0,0015	0,0198	0,0118	0,0127	0,0106
ELSA	0,0057	0,0141	0,0085	0,0101	0,0170	0,0056	0,0118	0,0193	0,0166	0,0102
MEDC	0,0041	0,0107	0,0059	0,0093	0,0159	0,0033	0,0127	0,0166	0,0271	0,0084
TPIA	0,0013	0,0060	0,0078	0,0033	0,0076	-0,0013	0,0106	0,0102	0,0084	0,0284

4) Membuat matriks korelasi dan vektor identitas “Satu”

Tabel 5. *Matriks korelasi dan vector identitas Emiten*

Korelasi	ADRO	ANTM	INCO	ITMG	PGAS	PTBA	INKP	ELSA	MEDC	TPIA
ADRO	1,0000									
ANTM	0,1398	1,0000								
INCO	0,2567	0,6841	1,0000							
ITMG	0,5993	0,1700	0,3472	1,0000						
PGAS	0,2960	0,5094	0,4742	0,4726	1,0000					
PTBA	0,6866	0,3273	0,3180	0,6657	0,4868	1,0000				
INKP	0,0512	0,5126	0,5195	0,0377	0,5058	0,0999	1,0000			
ELSA	0,3171	0,5375	0,4730	0,4625	0,7766	0,3860	0,6039	1,0000		
MEDC	0,1931	0,3441	0,2788	0,3621	0,6141	0,1915	0,5458	0,7260	1,0000	
TPIA	0,0583	0,1873	0,3588	0,1249	0,2881	-0,0724	0,4484	0,4340	0,3037	1,0000
Satu	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

5) Menghitung return ekspektasian, varian, standar deviasi dan *coefficient variation* (CV) portofolio 10 saham emiten terseleksi

Tabel 6. *Return ekspektasian, varian, standar deviasi dan coefficient variation (CV) portofolio 10 saham emiten terseleksi*

R. Ekspektasian Portofolio	0,231768105
Varian Portofolio	2,298425689
Std. Deviasi Portofolio	167,7736514
CV Portofolio	33,60182067

6) Menentukan nilai standar deviasi tertinggi (MAX), nilai standar deviasi terkecil (MVP), interval, dan return ekspektasian portofolio di set efisien.

Tabel 7. Nilai standar deviasi tertinggi (MAX), nilai standar deviasi terkecil (MVP), interval, dan return ekspektasian

Portofolio	Std. Deviasi	Return Ekspektasian
ADRO	0,1284	0,0331
ANTM	0,1893	0,0400
INCO	0,1287	0,0276
ITMG	0,1565	0,0455
PGAS	0,1576	0,0072
PTBA	0,1046	0,0143
INKP	0,1408	0,0131
ELSA	0,1390	0,0100
MEDC	0,1647	0,0231
TPIA	0,1684	0,0124
MAX	0,1893	0,0911
1	0,1840	0,0884
2	0,1786	0,0858
3	0,1733	0,0831
4	0,1680	0,0805
5	0,1626	0,0778
6	0,1573	0,0750
7	0,1519	0,0723
8	0,1466	0,0695
9	0,1413	0,0666
10	0,1359	0,0638
11	0,1306	0,0608
12	0,1253	0,0578
13	0,1199	0,0548
14	0,1146	0,0516
15	0,1092	0,0483
16	0,1039	0,0448
17	0,0986	0,0411
18	0,0932	0,0371
19	0,0879	0,0325
20	0,0825	0,0268
MVP	0,0772	0,0137

7) Menentukan proporsi portofolio optimal
 Untuk investor tipe risk taker

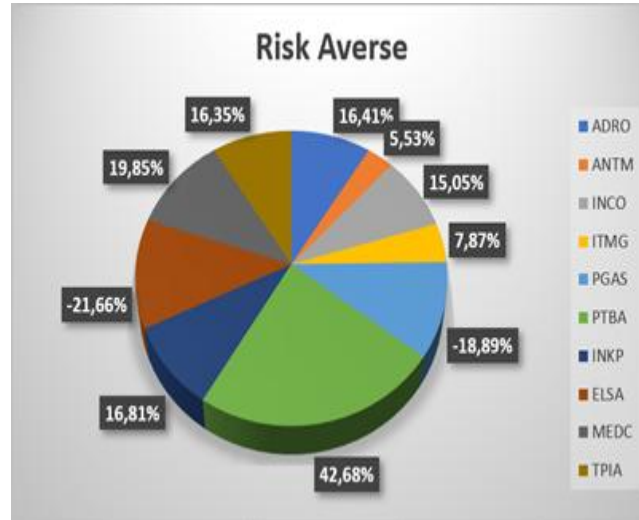


Gambar 1. Diagram Proporsi saham *Risk Taker*

Diagram di atas menunjukkan pemilihan portofolio optimal untuk investor yang

menyukai risiko (*risk taker*) karena memilih risiko yang tinggi, misalnya dengan memilih nilai standar deviasi 0,1733 dengan return ekspektasian yang diperoleh dengan risiko ini adalah 0,0831. Jadi untuk mendapatkan portofolio ini harus membeli saham dari masing-masing emiten terseleksi dengan proporsi yang diberikan.

Untuk investor tipe *risk averse*



Gambar 1. Diagram Proporsi saham *Risk Averse*

Diagram di atas menunjukkan pemilihan portofolio optimal untuk investor yang kurang menyukai risiko (*risk averse*) karena memilih risiko yang rendah, misalnya dengan memilih nilai standar deviasi 0,0825 dengan return ekspektasian yang diperoleh dengan risiko ini adalah 0,0268. Jadi untuk mendapatkan portofolio ini harus membeli saham dari masing-masing emiten terseleksi dengan proporsi yang diberikan.

Berdasarkan Model Markowitz, portofolio optimal yang dapat dibentuk apabila dibuat untuk kepentingan investor yang menyukai risiko (*risk taker*, misal nilai standar deviasi yang dipilih 0,1733), proporsi sahamnya: ADRO (70,50%), ANTM (67,60%), INCO (-10,31%), ITMG (97,45%), PGAS (-38,71%), PTBA (-73,41%), INKP (35,31%), ELSA (-93,93%), MEDC (34,74%) dan TPIA (10,76%). Nilai proporsi negatif berarti *short sale* diizinkan untuk dilakukan. Sementara itu, apabila dibuat untuk kepentingan investor yang kurang menyukai risiko (*risk averse*, misal nilai standar deviasi yang dipilih 0,0825), proporsi sahamnya: ADRO (16,41%), ANTM (5,53%), INCO (15,05%), ITMG (7,87%), PGAS (-18,89%), PTBA (42,68%), INKP (16,81%), ELSA (-21,66%), MEDC (19,85%) dan TPIA (16,35%).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa perdagangan karbon merupakan salah satu instrumen strategis dalam upaya mitigasi perubahan iklim dan pemanasan global. Mekanisme ini dirancang untuk mengurangi emisi gas rumah kaca secara efisien melalui sistem perdagangan emisi dan offset emisi yang didukung oleh kebijakan pemerintah Indonesia. Selain berfungsi sebagai instrumen lingkungan, perdagangan karbon juga berpotensi menciptakan peluang ekonomi baru, mendorong investasi hijau, serta memperkuat ekosistem pasar modal berkelanjutan di Indonesia.

Keikutsertaan emiten di Bursa Efek Indonesia dalam perdagangan karbon memberikan sejumlah manfaat, baik dari aspek peningkatan pendapatan, daya saing, akses pembiayaan,

kepatuhan regulasi, maupun reputasi perusahaan. Bagi investor, hal ini membuka peluang untuk membentuk portofolio optimal dengan pendekatan Model Markowitz, sesuai dengan preferensi risiko masing-masing. Hasil analisis menunjukkan bahwa portofolio optimal bagi investor dengan tingkat toleransi risiko tinggi (risk taker) menghasilkan komposisi saham yang berbeda dibandingkan dengan investor yang cenderung menghindari risiko (risk averse). Adanya proporsi negatif pada beberapa saham juga menandakan kemungkinan penerapan strategi short selling.

Secara keseluruhan, perdagangan karbon tidak hanya mendukung tercapainya target net zero emission, tetapi juga memperluas peluang ekonomi dan investasi berkelanjutan di Indonesia. Dengan demikian, integrasi perdagangan karbon dan strategi portofolio optimal dapat menjadi salah satu pendekatan yang relevan dalam mewujudkan pertumbuhan ekonomi yang ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan data emisi dan return saham hanya untuk periode tahun 2020–2022 dengan sampel 10 emiten yang menghasilkan emisi karbon tinggi. Keterbatasan periode waktu serta jumlah sampel tersebut dapat membatasi generalisasi hasil terhadap keseluruhan populasi emiten di Bursa Efek Indonesia. Peneliti berikutnya disarankan menggunakan data emiten yang lebih luas serta memperpanjang periode observasi agar hasilnya lebih representatif dan dapat menangkap dinamika pasar dalam jangka panjang. Sebagai pembanding, penelitian mendatang dapat menggunakan model lain seperti *Capital Asset Pricing Model (CAPM)*, *Black-Litterman Model*, atau *Sharpe Ratio Optimization* untuk melihat perbedaan hasil portofolio optimal.

DAFTAR REFERENSI

- Aldy, J. E., & Stavins, R. N. (2012). The promise and problems of pricing carbon: Theory and experience. *Journal of Environment & Development*, 21(2), 152-180. <https://doi.org/10.1177/1070496512442508>
- Budiono, A., Kusuma, H., & Wijayanti, P. (2020). Environmental economic instruments in Indonesia: Progress and challenges. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, 4(3), 89-105. <https://doi.org/10.26554/ijems.2020.4.3.89-105>
- Borghesi, S., Cainelli, G., & Mazzanti, M. (2020). Linking emission trading to environmental innovation: Evidence from the Italian manufacturing industry. *Research Policy*, 49(9), 103987. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103987>
- Chang, K., Chen, R. Y., & Huang, H. C. (2025). Systematically formulating investments for carbon offset by multiple-objective portfolio selection: Classifying, evolving, and optimizing. *Mathematics*, 13(6), 441. <https://doi.org/10.3390/math13060441>
- Chaweevanon, A., & Chaysiri, R. (2022). Markowitz mean-variance portfolio optimization with predictive stock selection using machine learning. *International Journal of Financial Studies*, 10(3), 64. <https://doi.org/10.3390/ijfs10030064>
- Coherent Market Insights. (2022). *Carbon Credit Trading Platform Market*. Coherent Market Insights.
- Dechezleprêtre, A., Nachtigall, D., & Venmans, F. (2023). The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance. *Journal of Environmental Economics and Management*, 118, 102758. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102758>

-
- Dewi, R. K., Santoso, B., & Kusuma, H. (2024). Carbon trading and sustainable investment opportunities in Indonesia's energy sector. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(3), 234-249. <https://doi.org/10.32479/ijeep.15234>
- Donofrio, S., Maguire, P., Myers, K., Daley, C., & Lin, K. (2023). *The State of the Voluntary Carbon Markets 2023*. Ecosystem Marketplace, Forest Trends.
- Ellerman, A. D., Convery, F. J., & de Perthuis, C. (2010). *Pricing Carbon: The European Union Emissions Trading Scheme*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fell, H., & Maniloff, P. (2018). Leakage in regional environmental policy: The case of the regional greenhouse gas initiative. *Journal of Environmental Economics and Management*, 87, 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.10.007>
- Firmansyah, A., & Dwikora, P. (2024). Analyzing Presidential Regulation No. 98/2021 as Indonesia's carbon pricing framework. *Asia Pacific Journal of Environmental Law*, 27(1), 78-96. <https://doi.org/10.1017/aerl.2024.5>
- Gerasimchuk, I., Bassi, A. M., Ordonez, C. D., Doukas, A., Merrill, L., & Whitley, S. (2023). Removal of fossil fuel subsidies and introduction of carbon pricing: Revenue recycling and emission reduction. *International Economics and Economic Policy*, 20, 217-238. <https://doi.org/10.1007/s10368-022-00558-w>
- Goulder, L. H., & Schein, A. R. (2013). Carbon taxes versus cap and trade: A critical review. *Climate Change Economics*, 4(3), 1350010. <https://doi.org/10.1142/S2010007813500103>
- Grubb, M., Vrolijk, C., & Brack, D. (2003). *The Kyoto Protocol: A Guide and Assessment*. Royal Institute of International Affairs/Earthscan Publications.
- Haites, E. (2018). Carbon taxes and greenhouse gas emissions trading systems: What have we learned? *Climate Policy*, 18(8), 955-966. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1492897>
- Hakim, L., Setiawan, B., & Permana, I. (2024). Carbon trading mechanisms in Indonesia: A comparative study of exchange-based and direct trading. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 16(2), 201-218. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-09-2023-0112>
- Handayani, K., & Fitriana, I. (2023). Impact of carbon price on Indonesia's power sector up to 2050. *Carbon Neutrality*, 2(1), 24. <https://doi.org/10.1007/s43979-023-00066-4>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Jogiyanto H. (2014). *Teori dan Praktik Portofolio dengan Excel*. Jakarta: Salemba Empat.
- Huang, Y., Zhang, J., & Mirza, N. (2024). Does carbon trading promote green innovation? Evidence from Chinese firms. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9(2), 100482. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100482>
- Katadata Insight Center. (2002). "Indonesia Carbon Trading Handbook". Available online: https://cdn1.katadata.co.id/media/filespdf/2022/Indonesia_Carbon_Trading_Handbook.pdf. diakses pada 5 Juni 2023.
- Katadata.co.id. 28 Juli 2022. "Potensi Ekonomi Karbon Indonesia Capai Rp8.000 Triliun, Ini

- Rinciannya”. Diambil dari <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/07/28/potensi-ekonomi-karbon-indonesia-capai-rp8000-triliun-ini-rinciannya>, diakses pada 5 Juni 2023.
- Kemenkeu.go.id. 13 Oktober 2021. “Kenalkan Pajak Karbon untuk Mengendalikan Perubahan Iklim, Indonesia Ambil Manfaat Sebagai Penggerak Pertama di Negara Berkembang”. Diambil dari <https://fiskal.kemenkeu.go.id/publikasi/siaran-pers-detil/328>, diakses pada 1 Juni 2021.
- Kreibich, N., & Hermwille, L. (2021). Caught in between: Credibility and feasibility of the voluntary carbon market post-2020. *Climate Policy*, 21(7), 939-957. <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1948384>
- Kusuma, A. D., Setiawan, I., & Wahyuni, S. (2022). Projection of CO2 emissions in Indonesia. *Materials Today: Proceedings*, 63, S484-S489. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.021>
- Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G. J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Khourdajie, A. A., House, J., Pachauri, S., Figueroa, M., Saheb, Y., Slade, R., Hubacek, K., Sun, L., Ribeiro, S. K., Khennas, S., de la Rue du Can, S., ... Minx, J. C. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>
- Li, M., Weng, Y., & Duan, M. (2023). Emissions trading and carbon market performance in Shenzhen, China. *Applied Energy*, 193, 414-425.
- Lin, B., & Xu, B. (2024). Research on the impact of carbon trading on enterprises' green technology innovation. *Energy Policy*, 195, 114345. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114345>
- Löfgren, Å., Wråke, M., Hagberg, T., & Roth, S. (2018). Why the EU ETS needs reforming: An empirical analysis of the impact on company investments. *Climate Policy*, 18(5), 658-664. <https://doi.org/10.1080/14693062.2017.1331904>
- Mardani, A., Streimikiene, D., Balezentis, T., Saman, M. Z. M., Nor, K. M., & Khoshnoudi, M. (2023). Carbon dioxide (CO2) emissions and economic growth: A systematic review of two decades of research from 1995 to 2017. *Science of the Total Environment*, 649, 31-49. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.229>
- Martin, R., Muûls, M., & Wagner, U. J. (2016). The impact of the European Union Emissions Trading Scheme on regulated firms: What is the evidence after ten years? *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(1), 129-148. <https://doi.org/10.1093/reep/rev016>
- Michaelowa, A., & Jotzo, F. (2005). Transaction costs, institutional rigidities and the size of the clean development mechanism. *Energy Policy*, 33(4), 511-523. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.08.016>
- Narassimhan, E., Gallagher, K. S., Koester, S., & Alejo, J. R. (2018). Carbon pricing in practice: A review of existing emissions trading systems. *Climate Policy*, 18(8), 967-991. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1467827>
- Nugroho, D., & Wijaya, K. (2024). IDXCarbon and the development of Indonesia's carbon

- market infrastructure. *Jurnal Ekonomi dan Keuangan Indonesia*, 70(1), 45-62. <https://doi.org/10.47291/jeki.v70i1.1234>
- OECD. (2020). *Monitoring the Transition to a Low-Carbon Economy: A Strategic Approach to Local Development*. OECD Local Economic and Employment Development (LEED) Papers. Paris: OECD Publishing.
- Pemerintah Indonesia. (2021). *Updated Nationally Determined Contribution (NDC) Indonesia*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Pratama, A., Santoso, D., & Kusumawati, R. (2025). From policy to practice: Evaluating Indonesia's carbon trading implementation. *Climate Policy*, 25(3), 312-328. <https://doi.org/10.1080/14693062.2024.2401234>
- Prihartini, R., Rahmawati, D., & Wicaksono, A. (2025). Strategy to achieve Indonesia's Nationally Determined Contribution target by developing a sustainable carbon market. *European Journal of Business and Management Research*, 10(1), 1-9. <https://doi.org/10.24018/ejbmr.2025.10.1.2494>
- Purwanto, W. W., Suprpto, E., Safitri, M., & Hadi, I. (2025). Carbon tax and trading mechanisms for emission reduction in the Indonesian power sector. *Energy Strategy Reviews*, 57, 101478. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101478>
- Putra, I. M., & Sari, D. P. (2023). Sectoral coverage of carbon pricing in Indonesia: Opportunities and challenges. *Energy Policy Journal*, 175, 113467. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113467>
- Rahayu, S., Hidayat, A., & Susanto, E. (2024). Regulatory challenges in Indonesia's carbon market development. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 11(1), 67-84. <https://doi.org/10.38011/jhli.v11i1.456>
- Ram, M., Child, M., Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Lohrmann, A., & Breyer, C. (2024). Job creation in a low carbon transition to renewables and energy efficiency: A review of international evidence. *Sustainability Science*, 19, 855-874. <https://doi.org/10.1007/s11625-023-01440-y>
- Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Republik Indonesia. (2017). *Peraturan Pemerintah Nomor 46 Tahun 2017 tentang Instrumen Ekonomi Lingkungan Hidup*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Sari, M. K., & Wibowo, P. (2024). Legal uncertainty in carbon trading: Implications for business climate in Indonesia. *Journal of Business Law and Ethics*, 8(2), 123-140. <https://doi.org/10.25134/jble.v8i2.789>
- Song, Y., Zhang, M., & Sun, R. (2024). Can carbon emissions trading scheme make power plants greener? Evidence from China. *Frontiers in Energy Research*, 10, 906033.

<https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.906033>

- UNFCCC. (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Rio de Janeiro: United Nations.
- UNFCCC. (1995). *The Berlin Mandate: Review of the Adequacy of Article 4, Paragraph 2(a) and (b), of the Convention*. FCCC/CP/1995/7/Add.1.
- UNFCCC. (1997). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Kyoto: United Nations.
- Wahyuningsih, S., & Santoso, B. (2024). The role of carbon trading in climate change mitigation: A juridical analysis of policies and regulations in environmental law in Indonesia. *The Easta Journal of Law and Human Rights*, 4(2), 112-129. <https://doi.org/10.58812/eslhr.v4i2.356>
- Wang, Z., Liu, Q., & Xu, J. (2025). The impact of carbon emissions trading on green total factor productivity based on evidence from a quasi-natural experiment. *Scientific Reports*, 15(1), 2318. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88318-4>
- World Bank. (2022). *State and Trends of Carbon Pricing 2022*. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1895-0>
- Zhang, W., Li, J., Li, G., & Guo, S. (2022). Emission reduction effect and carbon market efficiency of carbon emissions trading policy in China. *Energy*, 196, 117117. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117117>
- Zhou, F., Wang, X., & Lim, M. K. (2024). Research on the impact of carbon trading on enterprises' green technology innovation. *Energy Policy*, 195, 114567. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114567>
- Zhou, X. (2024). From theory to practice: Applying the Markowitz model in stock portfolio management under ESG. *International Journal of Global Economics and Management*, 2(3), 369-385. <https://doi.org/10.62051/IJGEM.v2n3.44>