



**EVALUASI MULTI-KRITERIA TERHADAP KEBIJAKAN KARBON:
KOMBINASI PENDEKATAN KUANTITATIF DAN KUALITATIF**

*Multi-Criteria Evaluation Of Carbon Policy: A Combination Of Quantitative
And Qualitative Approaches*

Husmaruddin

Universitas Muhammadiyah Palopo

***Correspondence Author: husmaruddin@umpalopo.ac.id**

Abstract

This study analyzes the impact of the Emission Trading Scheme (ETS) and carbon tax on the economy and society in Indonesia using quantitative and qualitative methods. The quantitative method uses a dynamic system model to analyze the effect of carbon policy on greenhouse gas (GHG) emissions and economic growth. Simulation results show that carbon policy is effective in reducing GHG emissions, although it has a negative impact on gross domestic product (GDP), especially at high carbon prices. Qualitative methods involve surveys and interviews to evaluate the social impact of this policy. The results of the analysis show that the environmental and forestry sectors are more supportive of ETS, while the financial, service, and NGO and community sectors prefer carbon tax. Although carbon policy is effective in reducing GHG emissions, its economic and social impacts need to be taken into account. Therefore, the formulation of carbon policy must consider the balance between the effectiveness of emission reduction and its impact on various sectors to ensure economic sustainability and social welfare in Indonesia.

Keywords: *Emission Trading, Carbon Tax, Greenhouse Gas Emissions, Economic Growth*

Abstrak

Penelitian ini menganalisis dampak skema perdagangan emisi (Emission Trading Scheme/ETS) dan pajak karbon terhadap ekonomi dan masyarakat di Indonesia dengan metode kuantitatif dan kualitatif. Metode kuantitatif menggunakan model sistem dinamis untuk menganalisis pengaruh kebijakan karbon terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) dan pertumbuhan ekonomi. Hasil simulasi menunjukkan kebijakan karbon efektif mengurangi emisi GRK, meskipun berdampak negatif pada produk domestik bruto (PDB), terutama pada harga karbon yang tinggi. Metode kualitatif melibatkan survei dan wawancara guna mengevaluasi dampak sosial kebijakan ini. Hasil analisis menunjukkan bahwa sektor lingkungan dan kehutanan lebih mendukung ETS, sementara sektor keuangan, jasa, serta LSM dan masyarakat lebih memilih pajak karbon. Meskipun kebijakan karbon efektif dalam menurunkan emisi GRK, dampak ekonomi dan sosialnya perlu diperhitungkan. Oleh karena itu, perumusan kebijakan karbon harus mempertimbangkan keseimbangan antara efektivitas pengurangan emisi dan dampaknya terhadap berbagai sektor untuk memastikan keberlanjutan ekonomi dan kesejahteraan sosial di Indonesia.

Kata Kunci: *Perdagangan Emisi, Pajak Karbon, Emisi Gas Rumah Kaca, Pertumbuhan Ekonomi*

PENDAHULUAN

Perubahan iklim telah menjadi isu global yang mendapat perhatian signifikan dari komunitas internasional akibat ancaman jangka panjang yang

ditimbulkan oleh pemanasan global [1]. Peningkatan emisi gas rumah kaca dari aktivitas manusia telah menyebabkan kenaikan suhu global, yang berdampak serius terhadap iklim dan lingkungan. Berdasarkan laporan Global Carbon Project, Indonesia, sebagai negara berkembang, menempati peringkat sepuluh besar negara dengan emisi karbon terbesar pada tahun 2023, dengan kontribusi sebesar 1,69% dari total emisi global. Secara khusus, sektor industri menjadi sumber utama emisi karbon di Indonesia, mencakup 74,5% dari total emisi dibandingkan dengan sektor non-industri.

Pemerintah Indonesia telah menunjukkan komitmennya dalam mitigasi emisi karbon dengan meratifikasi Perjanjian Paris 2015 melalui pengesahan Undang-Undang No. 16 Tahun 2016 serta menerapkan regulasi terkait perdagangan karbon dan pajak karbon dalam Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021. Salah satu skema yang diterapkan dalam kebijakan perdagangan karbon adalah skema perdagangan Emissions Trading Scheme (ETS). ETS dan pajak karbon merupakan dua instrumen yang berbeda dalam upaya pengurangan emisi gas rumah kaca. Dalam implementasi ETS, Indonesia merujuk pada Sistem Perdagangan Emisi berdasarkan Protokol Kyoto 1997, yang memberikan kuota emisi bagi industri di sektor tertentu. Industri yang mengurangi penggunaan kuota emisinya dapat menjual sisa kuotanya kepada industri lain, sedangkan industri yang melebihi kuota yang ditetapkan harus membeli kuota tambahan di pasar karbon. Sebaliknya, pajak karbon merupakan pajak yang dikenakan kepada industri yang melebihi batas kuota emisi yang telah ditetapkan. Jika suatu industri menghasilkan emisi karbon melebihi ambang batas yang ditentukan, maka kelebihan emisi tersebut akan dikenakan pajak sesuai dengan ketentuan tarif yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Pajak karbon berfungsi sebagai sumber pendapatan bagi negara, yang kemudian digunakan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Berbagai negara, seperti Tiongkok, Inggris, dan Meksiko, telah menerapkan kedua instrumen ini dan terbukti efektif dalam menurunkan emisi karbon. Namun, implementasi kebijakan ini juga memiliki konsekuensi ekonomi dan berdampak terhadap daya saing industri. Penerapan ETS dapat berdampak negatif terhadap industri energi dan manufaktur, sedangkan pajak karbon dapat menghambat pertumbuhan industri jasa.

Di Indonesia, kebijakan terkait pajak karbon dan skema perdagangan emisi masih dalam tahap perencanaan meskipun awalnya direncanakan untuk diterapkan pada tahun 2022. Namun, implementasi kebijakan ini ditunda hingga tahun 2025 karena beberapa faktor, seperti kompleksitas administratif, ketidakpastian dalam penetapan tarif pajak yang optimal, serta kekhawatiran terhadap dampak kebijakan ini terhadap daya saing industri, khususnya di sektor industri yang intensif energi. Beberapa penelitian terdahulu telah menggunakan model Computable General Equilibrium (CGE) untuk menganalisis dampak kebijakan ini di negara maju, sebagaimana dilakukan oleh Barragán-Beaud [2], dan Lin [3]. Namun, penelitian serupa masih terbatas di negara berkembang, termasuk Indonesia.

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan sistem dinamis dengan perangkat lunak Vensim, yang lebih sesuai dalam memodelkan kompleksitas hubungan antar variabel yang saling memengaruhi, seperti emisi energi, produksi industri, dan Produk Domestik Bruto (PDB) [4]. Vensim memungkinkan pemodelan interaksi non-linear dan umpan balik yang lebih realistis, sehingga memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai dampak

kebijakan perdagangan emisi dan pajak karbon. Fokus utama penelitian ini adalah Indonesia sebagai negara berkembang yang belum secara resmi menerapkan kebijakan karbon. Dengan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam serta kontribusi yang signifikan dalam memahami dampak kebijakan karbon di negara berkembang.

METODE

Instrumen Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode campuran, yaitu kombinasi metode kuantitatif dan kualitatif guna memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai dampak skema perdagangan emisi dan kebijakan pajak karbon terhadap perekonomian serta masyarakat di Indonesia. Metode campuran memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam terhadap permasalahan kompleks serta dapat memperkuat validitas hasil penelitian [5]. Dalam hal menganalisis dampak ekonomi dari instrumen skema perdagangan emisi (ETS) dan pajak karbon, penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan model sistem dinamis menggunakan perangkat lunak Lunak Vensim. Model ini digunakan untuk mensimulasikan dampak kebijakan terhadap berbagai indikator ekonomi, antara lain produk domestik bruto (PDB), output produksi dari masing-masing industri, serta emisi karbon [6].

Penelitian ini mensimulasikan beberapa skenario kebijakan dalam menganalisis dampak ekonomi, yakni tarif pajak karbon rendah, tarif pajak karbon menengah, dan tarif pajak karbon tinggi. Adapun tahapan penelitian yang diterapkan dalam pendekatan kuantitatif adalah sebagai berikut [7]:

1. Pengembangan model sistem dinamis, yaitu dengan mengidentifikasi variabel utama seperti PDB, emisi karbon, konsumsi energi, biaya produksi, serta sumber pendapatan lainnya.
2. Perancangan diagram kausal serta diagram stok dan aliran guna memahami hubungan antarvariabel dalam sistem ekonomi.
3. Kalibrasi dan validasi model simulasi, termasuk pengujian konsistensi model dan validitas data.
4. Simulasi dengan berbagai skenario kebijakan, yang mencakup dampak skema perdagangan emisi dan pajak karbon terhadap variabel ekonomi utama.
5. Analisis hasil simulasi untuk mengevaluasi pengaruh kebijakan terhadap indikator ekonomi seperti PDB, emisi karbon, serta kinerja industri.

Pengukuran dampak sosial dari skema perdagangan emisi dan pajak karbon, penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode wawancara semi-terstruktur. Wawancara dilakukan dengan berbagai pemangku kepentingan, termasuk pejabat pemerintah, perwakilan industri, serta pakar lingkungan, guna memperoleh pemahaman mengenai persepsi, pengalaman, serta pandangan mereka terhadap implementasi kebijakan ini di Indonesia [9]. Dalam mengukur dampak sosial, penelitian ini mengacu pada beberapa aspek utama, yaitu keterlibatan masyarakat lokal, kondisi ketenagakerjaan, serta redistribusi pendapatan [10]. Tahapan dalam pendekatan kualitatif adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi pemangku kepentingan, yakni individu atau kelompok yang memiliki keterkaitan dengan kebijakan skema perdagangan emisi dan pajak karbon.

2. Pelaksanaan wawancara semi-terstruktur, dengan daftar pertanyaan yang mencakup aspek persepsi, pengalaman, serta implikasi kebijakan terhadap masyarakat.
3. Analisis tematik terhadap transkrip wawancara, guna mengidentifikasi tema utama serta pola yang muncul dalam data kualitatif.

Pendekatan metode campuran ini memungkinkan penelitian untuk memperoleh gambaran holistik terkait dampak ekonomi dan sosial dari implementasi skema perdagangan emisi serta pajak karbon di Indonesia [11].

Perancangan Scenario

Melalui model skenario yang dikembangkan, penelitian ini memungkinkan proyeksi terhadap dampak skema perdagangan emisi dan kebijakan pajak karbon terhadap pertumbuhan ekonomi serta pengurangan emisi di masa depan. Data historis yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dari tahun 2010, karena tahun tersebut dijadikan sebagai referensi dalam menentukan skenario business-as-usual (BAU) dalam konteks Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional.

Skenario BAU menggambarkan kondisi di mana tidak ada intervensi kebijakan yang diterapkan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, sehingga skenario ini berfungsi sebagai dasar perbandingan untuk menilai dampak kebijakan karbon [12], seperti skema perdagangan emisi dan pajak karbon. Pemilihan tahun 2010 sebagai titik awal analisis didasarkan pada fakta bahwa pada tahun tersebut Indonesia mulai memperkuat komitmennya terhadap mitigasi perubahan iklim dalam kerangka internasional, khususnya setelah Konferensi Perubahan Iklim PBB (COP 15) pada tahun 2009 [13]. Selain itu, tahun tersebut juga menjadi awal penetapan target jangka panjang bagi Indonesia dalam upaya pengurangan emisi.

Penelitian ini melakukan simulasi kebijakan karbon untuk periode 2023 hingga 2030, dengan mempertimbangkan bahwa tahun 2023 diproyeksikan sebagai tahun awal implementasi kebijakan karbon di Indonesia [14]. Meskipun kebijakan ini awalnya direncanakan untuk dimulai pada tahun 2022, implementasinya kemudian mengalami penundaan hingga tahun 2025 [15]. Target akhir dari NDC Indonesia telah ditetapkan untuk tahun 2030, di mana Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% dari skenario BAU melalui upaya nasional, serta mencapai pengurangan hingga 41% dengan dukungan internasional. Oleh karena itu, simulasi ini memiliki peran penting dalam mengevaluasi efektivitas kebijakan yang diterapkan pada pertengahan dekade (2023) dalam mencapai target jangka panjang yang telah ditetapkan Indonesia sesuai dengan NDC-nya.

PEMBAHASAN

Sistem Dinamis

Sistem dinamis adalah representasi atau formalisasi dari sistem nyata yang bergantung pada waktu dan berubah seiring waktu. Dengan memodelkan sistem dinamis ini, diharapkan dapat mempermudah penyelesaian permasalahan kompleks yang terjadi pada sistem nyata. Model sistem dinamis ini memiliki hubungan kausal yang disebut. Variabel-variabel yang terlibat dalam hubungan mencakup emisi gas rumah kaca dari berbagai sektor, seperti sektor energi, proses industri dan penggunaan produk, sektor pertanian, kehutanan, dan penggunaan lahan lainnya, serta sektor limbah, termasuk total emisi gas rumah kaca [16]. Faktor-faktor yang memengaruhi PDB meliputi sektor industri dan manufaktur, serta sektor bisnis

lainnya, selain kebijakan seperti skema perdagangan emisi dan pajak karbon. Diagram Sistem berjalan pada Gambar 1 menampilkan hubungan kausal antarvariabel tersebut.

Validasi Data

Hasil simulasi divalidasi untuk memastikan bahwa model yang digunakan benar-benar menggambarkan kondisi sistem yang sebenarnya. Proses verifikasi dilakukan dengan memeriksa model dan unit menggunakan fasilitas yang tersedia dalam perangkat lunak Vensim [17]. Validasi sistem dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu Validasi model dengan uji perbandingan rata-rata menggunakan statistik uji perbandingan mean. Validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau uji persentase kesalahan variansi error untuk mengevaluasi tingkat akurasi model dalam merepresentasikan sistem nyata.

Mean Comparison Test ditulis dalam rumus [18]:

$$E1 = \left[\frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right]$$

Description:

\bar{S} = average value of simulation results

\bar{A} = average value of data

The model is considered valid if $E1 \leq 5\%$

Uji Perbandingan Varians Amplitudo [19]: $E2 = \left[\frac{Ss - Sa}{Sa} \right]$

Description:

Ss = model standard deviation , Sa = data standard deviation.

Tabel 1 menyajikan validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata dan validasi menggunakan uji perbandingan variasi amplitudo atau varians kesalahan persentase untuk variabel GRK dan PDB.

Table 1. Validation of GHG

Year	Actual	Simulation
2010	830.607	830.260
2011	947.687	947.193
2012	1.267.182	1.267.140
2013	1.322.922	1.321.610
2014	1.410.513	1.411.400
2015	2.243.464	2.244.380
2016	1.522.867	1.523.740
2017	1.638.208	1.640.210
2018	1.936.280	1.936.610
2019	1.737.380	1.740.930
2020	1.180.798	1.182.760
2021	1.132.723	1.130.240
2022	1.254.137	1.253.250
Average	1.478.977.57	1.479.381.86
E1	0.0273 % < 5 %	Valid
Std. Deviation	401.639.95	402.252.11

E2

0.1524 % < 5 %

Valid

Tabel 1, dan Tabel 2 menunjukkan perbandingan antara data GRK aktual dengan hasil simulasi dari tahun 2010 hingga 2022. Nilai PDB rata-rata aktual dan simulasi sangat dekat, dengan rata-rata aktual 1.478.977,57 dan rata-rata simulasi 1.479.381,86. E1 adalah ukuran kesalahan relatif antara data aktual dan hasil simulasi [20]. Nilai E1 adalah 0,0273%, yang jauh lebih kecil dari 5%. Hasil ini menunjukkan bahwa kesalahan relatif antara data aktual dan data simulasi sangat kecil (kurang dari 5%), yang berarti model simulasi GRK yang digunakan sangat akurat dalam mereplikasi data aktual. Oleh karena itu, nilai ini divalidasi sebagai "VALID". Standar deviasi untuk data aktual adalah 401.639,95, sedangkan untuk data simulasi adalah 402.252,1.

Standar deviasi, yang hampir sama antara data aktual dan simulasi, menunjukkan bahwa variasi dalam data simulasi hampir sama dengan variasi pada data actual [21]. Hal ini mendukung kesimpulan bahwa model simulasi menangkap dinamika variabel GRK dengan baik. E2 adalah ukuran kesalahan standar deviasi antara data aktual dan hasil simulasi [22]. Nilai E2 adalah 0,1524%, yang jauh lebih kecil dari 30%. Hasil ini menunjukkan bahwa kesalahan relatif dalam standar deviasi antara data aktual dan hasil simulasi juga sangat kecil (kurang dari 30%). Oleh karena itu, nilai ini juga divalidasi sebagai VALID.

Table 2. Validasi GDP

Year	Actual	Simulation
2010	6.684.133	6.852.330
2011	7.831.726	7.843.630
2012	8.615.705	8.602.700
2013	9.546.134	9.545.120
2014	10.569.705	10.552.500
2015	11.521.333	11.539.100
2016	12.401.729	12.431.600
2017	13.589.826	13.589.000
2018	14.838.756	14.860.900
2019	15.832.657	15.852.400
2020	15.443.353	15.448.600
2021	16.976.751	16.946.700
2022	19.588.090	19.572.800
Average	10.583.022.40	10.586.235.71
E1	0.0304 % < 5 %	
Standard Deviation	2.071.781.80	2,076,506.41
E2	0.2280 % 30 %	

Valid

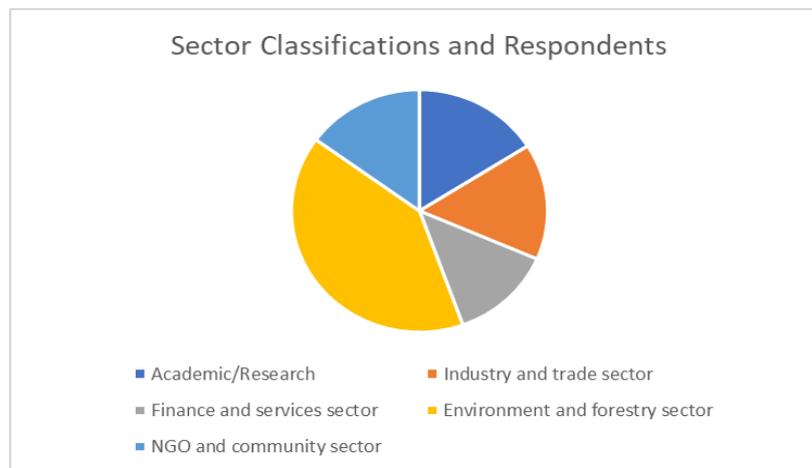
Valid

Hasil validasi menunjukkan bahwa model simulasi yang digunakan untuk memperkirakan PDB sangat akurat dalam mereplikasi data actual [23]. Nilai kesalahan yang sangat kecil (baik E1 dan E2), dan standar deviasi yang hampir persis sama antara data aktual dan data simulasi menunjukkan bahwa model dapat diandalkan untuk memprediksi PDB dengan tingkat presisi yang tinggi. Artinya, model tersebut cukup kuat untuk digunakan untuk analisis kebijakan, seperti skema perdagangan emisi dan kebijakan pajak karbon di Indonesia.

Analisis Dampak Sosial

Terhadap dampak sosial, penelitian ini menggunakan analisis kualitatif, yaitu survei online dan wawancara semi terstruktur. Para responden adalah perwakilan dari berbagai kelompok kepentingan yang terlibat, dan mereka memahami skema perdagangan emisi dan instrumen pajak karbon di Indonesia. Survei ini anonim dan dilakukan menggunakan platform Google Formulir. Menggunakan analisis akan membantu memahami preferensi, dan dampak ekonomi dan sosial dari berbagai kelompok kepentingan yang berbeda [24], untuk menentukan instrumen yang tepat untuk diterapkan di Indonesia. Berikut klasifikasi responden pada gambar 1.

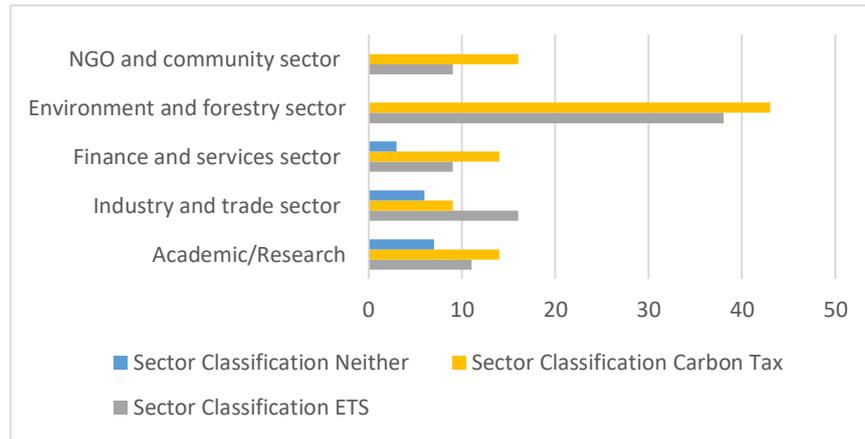
Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa dari 200 responden kuesioner mengenai dampak skema perdagangan emisi dan kebijakan pajak karbon terhadap perekonomian dan masyarakat Indonesia, mayoritas responden (41%) berasal dari sektor lingkungan hidup dan kehutanan, diikuti oleh sektor akademik/riset sebesar 16%, sektor industri dan perdagangan sebesar 16%, LSM dan sektor masyarakat sebesar 15%, dan sektor keuangan dan jasa sebesar 13%.



Gambar 1. Klasifikasi responden

Meskipun jumlah responden dari sektor-sektor yang tidak berurusan dengan lingkungan hidup dan kehutanan lebih sedikit, keragaman ini memberikan perspektif yang kaya dan beragam mengenai persepsi anggota berbagai sektor terhadap politik karbon. Bank Dunia menekankan bahwa instrumen penetapan harga karbon, seperti ETS dan pajak karbon, merupakan elemen penting untuk mengurangi emisi karbon [25], tetapi implementasinya menghadapi tantangan ekonomi yang signifikan, terutama di negara berkembang. Sektor kehutanan, yang merupakan mayoritas responden kuesioner ini berasal, memiliki peran penting dalam perdagangan kredit karbon berbasis alam, dan terkait erat dengan kebijakan internasional tentang karbon. Hal ini memberikan potensi besar bagi Indonesia untuk memanfaatkan pasar karbon global, terutama di sektor-sektor yang berperan langsung dalam konservasi dan pemanfaatan hutan.

Preferensi instrumen pengurangan emisi disajikan kepada responden, yang diminta untuk memilih instrumen yang paling tepat untuk diterapkan di Indonesia. Opsi yang diberikan termasuk skema perdagangan emisi, pajak karbon, sebagaimana hasil pada gambar 2.



Gambar 2. Pilihan Instrumen Pengurangan Emisi

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa dampak ekonomi dari penerapan kebijakan karbon di Indonesia, baik melalui ETS maupun pajak karbon, efektif dalam mengurangi emisi GRK. Namun, setiap instrumen memiliki dampak ekonomi yang berbeda-beda. Skenario dengan harga karbon yang lebih tinggi menunjukkan penurunan emisi yang lebih besar, tetapi juga disertai dengan penurunan PDB yang lebih signifikan. Di sisi lain, skenario dengan harga karbon yang lebih rendah menghasilkan pertumbuhan ekonomi yang lebih stabil, meskipun pengurangan emisi lebih moderat. Dari segi dampak sosial, yang diselidiki melalui survei dan wawancara, sektor yang terlibat memiliki pandangan yang berbeda mengenai instrumen yang paling tepat. Mayoritas responden dari sektor lingkungan hidup dan kehutanan menunjukkan dukungan kuat terhadap ETS, mengingat sektor ini terkait erat dengan mekanisme perdagangan emisi yang dapat memberikan insentif untuk konservasi dan perlindungan hutan. Di sisi lain, sektor keuangan dan jasa, serta LSM dan masyarakat, cenderung lebih mendukung penerapan pajak karbon karena dinilai lebih mudah diterapkan dan memberikan kepastian mengenai harga karbon. Hasil wawancara dengan Kementerian Lingkungan Hidup dan pemangku kepentingan lainnya menunjukkan bahwa ETS dan pajak karbon direncanakan akan diterapkan secara bertahap di Indonesia, selama tahun 2025. Industri akan diberikan fleksibilitas untuk memilih instrumen yang paling tepat berdasarkan jumlah emisi yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada Universitas Muhammadiyah Palopo yang telah memberi dukungan selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Presiden, “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,” *Database Peratur. BPK*, vol. 10, no. 1, pp. 279–288, 2021.
- [2] C. Hepburn, N. Stern, and J. E. Stiglitz, “‘Carbon pricing’ special issue in the European economic review,” *Eur. Econ. Rev.*, vol. 127, p. 103440, 2020,

- doi: 10.1016/j.eurocorev.2020.103440.
- [3] H. Sun and J. Yang, “Optimal decisions for competitive manufacturers under carbon tax and cap-and-trade policies,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 156, no. March, p. 107244, 2021, doi: 10.1016/j.cie.2021.107244.
- [4] J. Feng, Z. Dan, and W. Wei, *Cap and Trade Versus Carbon Tax: An Analysis Based on a CGE Model*, no. 58. Springer US, 2021.
- [5] Z. Tu, B. Liu, D. Jin, W. Wei, and J. Kong, “The Effect of Carbon Emission Taxes on Environmental and Economic Systems,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 6, 2022, doi: 10.3390/ijerph19063706.
- [6] A. Köppl and M. Schratzenstaller, “Carbon taxation: A review of the empirical literature,” *J. Econ. Surv.*, vol. 37, no. 4, pp. 1353–1388, 2023, doi: 10.1111/joes.12531.
- [7] H. Xu, X. Pan, J. Li, S. Feng, and S. Guo, “Comparing the impacts of carbon tax and carbon emission trading, which regulation is more effective?,” *J. Environ. Manage.*, vol. 330, p. 117156, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117156>.
- [8] Z. Jia and B. Lin, “Rethinking the choice of carbon tax and carbon trading in China,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 159, no. December 2019, p. 120187, 2020, doi: 10.1016/j.techfore.2020.120187.
- [9] N. Ma, H. Li, Y. Wang, J. Zhang, Z. Li, and A. Arif, “The short-term roles of sectors during a carbon tax on Chinese economy based on complex network: An in-process analysis,” *J. Clean. Prod.*, vol. 251, p. 119560, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119560.
- [10] Y. Cao, A. Chaiwan, and C. Chaiboonsri, “The Effects of Industrialization and Economic Growth on Sustainable Development Decoupling in China,” *Rev. Integr. Bus. Econ. Res.*, vol. 12, no. 3, pp. 103–118, 2022.
- [11] C. Barragán-Beaud, A. Pizarro-Alonso, M. Xylia, S. Syri, and S. Silveira, “Carbon tax or emissions trading? An analysis of economic and political feasibility of policy mechanisms for greenhouse gas emissions reduction in the Mexican power sector,” *Energy Policy*, vol. 122, no. July, pp. 287–299, 2018, doi: 10.1016/j.enpol.2018.07.010.
- [12] J. Shen and C. Zhao, “Carbon trading or carbon tax? A computable general equilibrium–based study of carbon emission reduction policy in China,” *Front. Energy Res.*, vol. 10, p. 906847, 2022.
- [13] J. W. Creswell and M. Hirose, “Mixed methods and survey research in family medicine and community health,” *Fam. Med. Community Heal.*, vol. 7, no. 2, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1136/fmch-2018-000086.
- [14] R. L. Harrison, T. M. Reilly, and J. W. Creswell, “Methodological Rigor in Mixed Methods: An Application in Management Studies,” *J. Mix. Methods Res.*, vol. 14, no. 4, pp. 473–495, 2020, doi: 10.1177/1558689819900585.
- [15] R. Li, Q. Wang, Y. Liu, and R. Jiang, “Per-capita carbon emissions in 147 countries: The effect of economic, energy, social, and trade structural changes,” *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 27, pp. 1149–1164, 2021, doi: 10.1016/j.spc.2021.02.031.
- [16] Q. Wang and F. Zhang, “The effects of trade openness on decoupling carbon emissions from economic growth – Evidence from 182 countries,” *J. Clean. Prod.*, vol. 279, p. 123838, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123838>.



- [17] A. Dechezleprêtre, D. Nachtigall, and F. Venmans, “The joint impact of the European Union emissions trading system on carbon emissions and economic performance,” *J. Environ. Econ. Manage.*, vol. 118, p. 102758, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102758>.
- [18] M. Khastar, A. Aslani, and M. Nejati, “How does carbon tax affect social welfare and emission reduction in Finland?,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 736–744, 2020, doi: [10.1016/j.egy.2020.03.001](https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.03.001).
- [19] S. F. Moosavian, R. Zahedi, and A. Hajinezhad, “Economic, Environmental and Social Impact of Carbon Tax for Iran: A Computable General Equilibrium Analysis,” *Energy Sci. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 13–29, 2022, doi: [10.1002/ese3.1005](https://doi.org/10.1002/ese3.1005).
- [20] L. Wu, S. Zhang, and H. Qian, “Distributional effects of China’s National Emissions Trading Scheme with an emphasis on sectoral coverage and revenue recycling,” *Energy Econ.*, vol. 105, p. 105770, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105770>.
- [21] M. Antosiewicz, J. R. Fuentes, P. Lewandowski, and J. Witajewski-Baltvilks, “Distributional effects of emission pricing in a carbon-intensive economy: The case of Poland,” *Energy Policy*, vol. 160, p. 112678, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112678>.
- [22] Y. Barlas, “Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 42, no. 1, pp. 59–87, 1989.
- [23] Y. hua Chen, C. Wang, P. yan Nie, and Z. rui Chen, “A clean innovation comparison between carbon tax and cap-and-trade system,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 29, p. 100483, 2020, doi: [10.1016/j.esr.2020.100483](https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100483).
- [24] G. Lyons, C. Rohr, A. Smith, A. Rothnie, and A. Curry, “Scenario planning for transport practitioners,” *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, vol. 11, p. 100438, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100438>.
- [25] X. Hu, Z. Yang, J. Sun, and Y. Zhang, “Carbon tax or cap-and-trade : Which is more viable for Chinese remanufacturing industry?,” vol. 243, 2020, doi: [10.1016/j.jclepro.2019.118606](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118606).