Jurnal Ekonomi Bisnis, Manajemen dan Akuntansi (Jebma)
Volume : 06 | Nomor 03 | November 2026 | E-ISSN : 2797-7161 | DOI: doi.org/jebma.v6n3.9744

Simulasi Dampak Pajak Karbon Terhadap Emisi CO_2 Sektor Energi Indonesia: Pendekatan Baseline, Elastisitas Harga, Dan Analisis Sensitivitas

Penulis:
Aulia Keiko Hubbansyah[1]
Yuli Ardianto[2]
M. Nuruddin Subhan[3]
Leonard[4]
Selfia Herlanda[5]
Aldiansyah[6]

Afiliasi:
Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Pancasila[1,2,3,4,5,6]

Korespondensi:
yuliardianto@univpancasila.ac.id

Histori Naskah:
Submit: 06-10-2026
Accepted: 01-11-2026
Published: 02-11-2026

Abstrak

Latar belakang: Indonesia telah memiliki dasar hukum pajak karbon sejak diundangkannya UU No. 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan (UU HPP), dengan tarif minimum Rp30 per kilogram CO_2e. Namun, hingga 2026 pajak tersebut belum diterapkan, dan perdebatan kebijakan masih berlangsung tanpa banyak dukungan estimasi kuantitatif mengenai seberapa besar emisi yang sebenarnya dapat ditekan. Penelitian ini mengisi kekosongan tersebut melalui simulasi ex-ante terhadap emisi CO_2 dari pembakaran batubara, minyak, dan gas bumi pada periode 2027–2030.

Metode: Baseline *business as usual* (BAU) disusun dari data tahunan 2014–2024 (11 observasi) dengan mengombinasikan metode drift, tren linear, dan Holt *damped trend*, yang akurasinya diuji melalui validasi holdout dan *rolling-origin*. Empat skenario tarif dianalisis: Rp30.000, USD 10, USD 25, dan USD 50 per ton CO_2.

Hasil: Hasil simulasi menunjukkan bahwa tanpa pajak, emisi akan mencapai 931,5 $MtCO_2$ pada 2030. Tarif minimum UU HPP hanya menurunkan emisi tahun tersebut sebesar 1,9% (17,9 $MtCO_2$), sedangkan tarif USD 50 menurunkannya sebesar 29,2% (272,0 $MtCO_2$). Sekitar 84–90% penurunan berasal dari batubara, karena harga batubara DMO yang sangat rendah membuat beban pajak menjadi besar secara proporsional. Analisis sensitivitas mengungkap bahwa desain kebijakan lebih menentukan daripada asumsi perilaku: ketika pajak hanya berlaku pada 30% emisi batubara dalam skema *cap-and-tax*, atau ketika hanya seperempat beban pajak diteruskan ke harga, efek tarif minimum menyusut menjadi sekitar 0,5%.

Kesimpulan: Temuan ini mengindikasikan bahwa tarif minimum UU HPP lebih tepat dipandang sebagai sinyal kebijakan dan fondasi kelembagaan ketimbang instrumen mitigasi yang substansial.

Kata kunci: elastisitas harga; emisi CO_2; Indonesia; pajak karbon; simulasi kebijakan

Pendahuluan

Dalam satu dekade terakhir, emisi CO_2 dari pembakaran bahan bakar fosil di Indonesia meningkat jauh melampaui komitmen penurunannya, dari 466,8 $MtCO_2$ pada 2014 menjadi 779,0 $MtCO_2$ pada 2024, atau rata-rata 5,3% per tahun (Our World in Data, 2025). Emisi minyak relatif stagnan di kisaran 210–245 $MtCO_2$, sedangkan emisi batubara melonjak dari 173,6 menjadi 436,1 $MtCO_2$, sehingga porsinya naik dari 37,2% menjadi 56,0%, dengan lonjakan tertajam pada 2022 (sekitar 101 $MtCO_2$ dalam satu tahun). Persoalan emisi energi Indonesia pada dasarnya adalah persoalan batubara.

Salah satu instrumen yang disiapkan pemerintah adalah pajak karbon. Pasal 13 UU No. 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan (UU HPP) menetapkan tarif paling rendah Rp30 per kilogram CO_2e (Rp30.000 per ton), dengan tahap awal pada PLTU batubara melalui skema *cap-and-tax*,

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Volume : 06 | Nomor 03 | November 2026 | E-ISSN : 2797-7161 | DOI: doi.org/jebma.v6n3.9744

yaitu pajak hanya dikenakan atas emisi yang melampaui batas (*cap*) yang ditetapkan pemerintah. Pemberlakuan yang dijadwalkan 1 April 2022 terus tertunda, dan pada November 2025 Kementerian Keuangan menyatakan pajak karbon bukan prioritas APBN 2026 dengan alasan fokus pada pertumbuhan ekonomi dan masih menunggu Peraturan Pemerintah tentang Peta Jalan Pajak Karbon (DDTCNews, 2025; Tempo, 2025).

Penundaan ini menyisakan pertanyaan: jika pajak karbon diterapkan pada tarif yang diwacanakan, seberapa besar emisi yang dapat dikurangi? Jawabannya menentukan apakah pajak karbon layak menjadi instrumen mitigasi utama atau sekadar pelengkap perdagangan karbon. Karena pajak belum pernah berlaku, efeknya hanya dapat diestimasi melalui simulasi ex-ante, yaitu memproyeksikan emisi tanpa kebijakan lalu menghitung penyimpangannya ketika harga bahan bakar dinaikkan pajak, dengan parameter perilaku dari literatur.

Literatur pajak karbon Indonesia didominasi model *Computable General Equilibrium* (CGE) untuk dampak makroekonomi dan distribusi (misalnya Yusuf & Resosudarmo, 2015) serta kajian normatif-yuridis tentang desain kelembagaan dan penerimaan. Model CGE menuntut data dan keahlian besar dengan logika yang sulit ditelusuri pembuat kebijakan, sedangkan kajian normatif jarang mengukur dampak emisi. Sedikit pula studi yang memperhitungkan bahwa harga energi domestik, yaitu harga batubara DMO, BBM bersubsidi, dan Harga Gas Bumi Tertentu (HGBT), diatur pemerintah, padahal faktor inilah yang menentukan efektivitas pajak karbon.

Studi Literatur

Pajak karbon sebagai pajak Pigouvian

Emisi gas rumah kaca adalah eksternalitas negatif: biaya kerusakan iklim ditanggung masyarakat luas dan generasi mendatang, sehingga energi fosil dikonsumsi melebihi tingkat efisien secara sosial. Pajak Pigouvian mengoreksinya dengan membebankan harga pada setiap unit emisi. Karena dikenakan berdasarkan kandungan karbon, batubara mengalami kenaikan harga relatif terbesar. Pajak bekerja melalui efek permintaan (penurunan konsumsi) dan efek substitusi (pergeseran ke energi rendah karbon), yang kekuatannya ditentukan oleh tarif dan responsivitas pelaku ekonomi. Staf IMF mengusulkan harga karbon minimum USD 75, USD 50, dan USD 25 per ton CO_2 untuk negara maju, negara berkembang berpendapatan tinggi, dan berpendapatan rendah (Parry et al., 2021), sedangkan tarif minimum UU HPP hanya setara sekitar USD 1,7 per ton (kurs Rp17.700 per USD), kurang dari sepersepuluh batas bawah usulan tersebut.

Bukti empiris efektivitas harga karbon

Tarif rendah tidak serta-merta tanpa dampak. Best et al. (2020), dengan data 142 negara selama dua dekade, menemukan pertumbuhan emisi CO_2 sekitar 2 poin persentase per tahun lebih rendah di negara yang memiliki harga karbon, dan setiap tambahan satu euro per ton berkaitan dengan laju pertumbuhan emisi sekitar 0,3 poin persentase per tahun lebih rendah. Meta-analisis Döbbeling-Hildebrandt et al. (2024) atas 80 evaluasi kausal dari 21 skema juga menemukan penurunan substansial pada sedikitnya 17 skema meskipun tarifnya umumnya rendah. Namun, penurunan tersebut terutama berasal dari substitusi ke bahan bakar fosil rendah karbon dan efisiensi operasional, bukan investasi teknologi nol-karbon (Lilliestam et al., 2022). Di Indonesia, pajak karbon berpotensi mendorong pergeseran operasional seperti dari batubara ke gas, tetapi tidak dapat diandalkan sendirian untuk transformasi menuju energi terbarukan.

Elastisitas harga permintaan energi

Elastisitas harga menghubungkan kenaikan harga akibat pajak dengan perubahan emisi. Meta-analisis Labandeira et al. (2017) atas 428 studi (1990–2016) menghasilkan elastisitas rata-rata −0,21 dalam jangka pendek (satu tahun) dan −0,61 dalam jangka panjang, dengan rasio sekitar tiga kali di semua jenis energi. Elastisitas per jenis energi adalah −0,180 dan −0,684 (gas alam), −0,153 dan −0,443 (solar), −0,293 dan −0,773 (bensin), serta −0,126 dan −0,365 (listrik); estimasi khusus batubara tidak tersedia. Di tingkat domestik, Burke dan Kurniawati (2018) memperkirakan elastisitas harga listrik Indonesia sekitar −0,2 pada

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

tahun yang sama dan −0,4 dalam empat tahun, sedangkan Sa'ad (2009) menemukan permintaan bensin dan solar lebih responsif terhadap pendapatan daripada harga riil.

Studi pajak karbon di Indonesia

Kajian pajak karbon Indonesia sebagian besar memakai model CGE, dengan temuan penting bahwa pajak karbon cenderung progresif (Yusuf & Resosudarmo, 2015). Kajian lain membahas aspek hukum, desain *cap-and-tax*, dan penerimaan, misalnya potensi penerimaan sektor energi sekitar Rp23 triliun pada 2025 (DJP, t.t.). Pengukuran eksplisit dampak emisi pada berbagai tarif dengan memperhitungkan harga energi yang diatur masih jarang dilakukan, padahal harga tersebut menentukan besarnya kenaikan harga akibat pajak dan sejauh mana kenaikan itu dirasakan pengguna. Celah inilah yang diisi penelitian ini.

Metode Penelitian

Data dan kerangka penelitian

Data yang digunakan adalah emisi CO_2 tahunan dari pembakaran batubara, minyak, dan gas bumi Indonesia 2014–2024 (11 observasi) dari *Our World in Data* yang bersumber dari *Global Carbon Budget* (Our World in Data, 2025). Periode ini mencerminkan struktur energi terkini, termasuk ekspansi PLTU program 35.000 MW dan industri pengolahan mineral; emisi semen dan *flaring* dikeluarkan karena tidak dipengaruhi harga bahan bakar. Penelitian dilakukan dalam tiga tahap: (1) proyeksi baseline tanpa kebijakan (BAU); (2) penghitungan kenaikan harga bahan bakar akibat pajak dan penerjemahannya menjadi perubahan emisi melalui elastisitas; serta (3) pengujian keandalan hasil melalui validasi eksternal dan analisis sensitivitas.

Proyeksi baseline (BAU)

Dengan 11 observasi, model seperti ARIMA tidak dapat diidentifikasi secara stabil (Hyndman & Athanasopoulos, 2021), sehingga baseline per bahan bakar diproyeksikan dengan tiga metode hemat parameter: *random walk with drift*, tren linear, dan Holt *damped trend* (Gardner & McKenzie, 1985). Akurasinya diuji melalui uji holdout (estimasi 2014–2021, proyeksi 2022–2024) dan validasi *rolling-origin* satu langkah (titik akhir 2018–2023) dengan MAPE total emisi. Karena tidak ada metode yang unggul konsisten, baseline akhir memakai rata-rata ketiga metode (*forecast combination*), yang lebih stabil karena kesalahan antarmetode saling mengimbangi.

Model simulasi dampak pajak karbon

Mekanisme pajak disimulasikan dalam dua langkah. Langkah pertama menghitung kenaikan harga proporsional bahan bakar *i* akibat pajak dengan tarif *T* (Rp/tCO_2):

$$\Delta p_i = \frac{\phi \cdot T \cdot EF_i}{P_i} \quad (1)$$

dengan EF_i adalah faktor emisi (tCO_2/GJ), P_i harga bahan bakar (Rp/GJ), dan φ tingkat penerusan (*pass-through*) pajak ke harga yang dihadapi pengguna. Penggunaan satuan energi (GJ) membuat bahan bakar dengan satuan fisik berbeda dapat dibandingkan secara konsisten. Langkah kedua menerjemahkan kenaikan harga menjadi perubahan emisi dengan fungsi permintaan berelastisitas konstan:

$$E_{i,t}^{tax} = E_{i,t}^{BAU}[c_i(1+\Delta p_i)^{\varepsilon_{i,k}} + (1-c_i)] \quad (2)$$

dengan c_i cakupan pajak dan $\varepsilon_{i,k}$ elastisitas pada tahun ke-*k* sejak pajak berlaku; bentuk elastisitas konstan konsisten dengan spesifikasi log-linear dalam meta-analisis rujukan. Karena respons berlangsung bertahap, dari penyesuaian operasional hingga penggantian peralatan, digunakan model penyesuaian parsial (Nerlove, 1958; Koyck, 1954):

$$\ln Q_{i,t} = \alpha_i + \varepsilon_i^{SR} \ln P_{i,t} + \lambda_i \ln Q_{i,t-1} \quad (3)$$

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

dengan Q konsumsi bahan bakar dan λ_i kelembaman permintaan. Jika harga naik permanen, efeknya menumpuk menjadi ε^{SR}, $\varepsilon^{SR}(1 + \lambda)$, $\varepsilon^{SR}(1 + \lambda + \lambda^2)$, dan seterusnya, yang konvergen ke elastisitas jangka panjang:

$$\varepsilon_i^{LR} = \frac{\varepsilon_i^{SR}}{1-\lambda_i} \quad (4)$$

Dengan demikian $\lambda_i = 1 - \varepsilon^{SR}_i/\varepsilon^{LR}_i$, yaitu 0,66 untuk batubara, 0,63 untuk minyak, dan 0,74 untuk gas, sejalan dengan rasio jangka panjang terhadap jangka pendek sekitar tiga kali ($\lambda \approx 0{,}67$); separuh respons jangka panjang batubara tercapai dalam sekitar 1,7 tahun. Elastisitas efektif pada tahun ke-k adalah:

$$\varepsilon_{i,k} = \varepsilon_i^{LR} - \left(\varepsilon_i^{LR} - \varepsilon_i^{SR}\right)\lambda^k, \quad k = 0, 1, 2, 3 \quad (5)$$

dengan $k = 0$ untuk 2027 hingga $k = 3$ untuk 2030; pada $k = 0$ nilainya sama dengan elastisitas jangka pendek dan mendekati elastisitas jangka panjang seiring bertambahnya k. Karena elastisitas meta-analisis merupakan rata-rata banyak studi, λ ini adalah aproksimasi; sebagai pembanding, estimasi Burke dan Kurniawati (2018), dengan rasio efek empat tahun terhadap tahun pertama ($1 + \lambda + \lambda^2 + \lambda^3$) sebesar 2, menghasilkan $\lambda \approx 0{,}54$. Elastisitas efektif setiap tahun disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Elastisitas efektif per tahun sejak pajak berlaku

Bahan bakar	Tahun ke-1: 2027 (k = 0)	Tahun ke-2: 2028 (k = 1)	Tahun ke-3: 2029 (k = 2)	Tahun ke-4: 2030 (k = 3)	Jangka panjang
Batubara	−0,207	−0,344	−0,434	−0,493	−0,608
Minyak	−0,223	−0,364	−0,454	−0,510	−0,608
Gas bumi	−0,180	−0,313	−0,410	−0,482	−0,684

Keterangan: Nilai dihitung dengan persamaan (5) dan menunjukkan persentase penurunan konsumsi terhadap BAU akibat kenaikan harga 1%. Contoh: kenaikan harga batubara 10% menurunkan konsumsinya sekitar 2,1% pada 2027 dan sekitar 4,9% pada 2030, keduanya relatif terhadap BAU.

Parameter simulasi, sumber, dan justifikasinya

Parameter dan sumbernya. Elastisitas diambil dari Labandeira et al. (2017): −0,207 dan −0,608 untuk batubara (energi agregat), −0,223 dan −0,608 untuk minyak (rata-rata solar dan bensin), serta −0,180 dan −0,684 untuk gas. Meta-analisis ini memuat 426 estimasi dari negara berkembang dan 481 dari negara pengekspor energi, mencakup studi tentang Indonesia (Dahl & Kurtubi, 2001; Sa'ad, 2009; Olivia & Gibson, 2008), dan menyediakan pasangan elastisitas jangka pendek-panjang yang konsisten. Elastisitas energi agregat, bukan listrik, dipakai untuk batubara karena lebih dari sepertiga konsumsi batubara domestik berada di luar PLN (Kontan, 2025). Faktor emisi mengikuti *default* IPCC (2006): 96,1 $kgCO_2/GJ$ (batubara sub-bituminus), 74,1 dan 69,3 (solar dan bensin), serta 56,1 (gas).

Harga energi dan nilai tukar. Digunakan harga yang diatur pemerintah karena harga inilah yang dihadapi pengguna domestik. Harga batubara kelistrikan dipatok USD 70 per ton sejak 2018 dan tidak berubah pada 2026 (Kontan, 2025; PERHAPI, 2026), mengacu pada 6.322 kkal/kg GAR atau sekitar 25 GJ/ton (sekitar USD 2,8/GJ); harga efektif PLN untuk batubara 4.200–5.000 kkal/kg sebesar USD 35–38 per ton (sekitar USD 1,9/GJ; Warta Ekonomi, 2026b) diuji dalam analisis sensitivitas. Harga Biosolar Rp6.800 dan Pertalite Rp10.000 per liter (RRI, 2026), dan HGBT kelistrikan USD 7/MMBtu (IDXChannel, 2026). Kurs Rp17.700 per USD (Bisnis.com, 2026) memengaruhi harga batubara dan gas dalam dolar serta tarif S2–S4; kurs Rp16.500 diuji sebagai alternatif.

Penerusan pajak ke harga (φ). Karena belum ada data empiris, φ diperlakukan sebagai asumsi eksplisit. Nilai sentral φ = 1 merupakan asumsi standar simulasi ex-ante, didukung bukti penerusan lebih dari 80% di pasar listrik Spanyol (Fabra & Reguant, 2014), dan relevan karena pajak atas PLTU dikenakan langsung pada pembangkit, sehingga keputusan *dispatch* dan pilihan bahan bakar menanggung pajak penuh meskipun tarif listrik konsumen tidak berubah. Namun, karena tarif listrik dan harga BBM bersubsidi ditetapkan pemerintah, beban pajak dapat dinetralkan melalui kompensasi APBN atau subsidi. Nilai φ = 0,5 dan 0,25 merepresentasikan skenario ketika separuh atau tiga perempat beban pajak dinetralkan.

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Skenario tarif

Empat skenario tarif (Tabel 2) mencakup ketentuan UU HPP (S1), peningkatan moderat (S2), hingga batas bawah dan tengah usulan harga minimum IMF bagi negara berkembang (S3 dan S4; Parry et al., 2021). Pajak diasumsikan mulai berlaku 2027 dengan tarif tetap secara nominal hingga 2030.

Tabel 2. Skenario tarif pajak karbon

Skenario	Tarif (Rp/tCO_2)	Setara USD/tCO_2	Dasar penetapan
S1	30.000	1,7	Tarif minimum Pasal 13 UU HPP
S2	177.000	10	Peningkatan moderat
S3	442.500	25	Harga minimum IMF untuk negara berkembang berpendapatan rendah
S4	885.000	50	Harga minimum IMF untuk negara berkembang berpendapatan tinggi

Prosedur perhitungan emisi skenario

Untuk setiap bahan bakar, tahun, dan skenario, Δp_i dihitung dengan persamaan (1) dalam Rp/GJ (untuk minyak, rata-rata solar dan bensin) dan konstan selama 2027–2030. Emisi skenario adalah emisi BAU dikalikan faktor penyesuaian $c_i(1 + \Delta p_i)^{\varepsilon i,k} + (1 - c_i)$, yang pada skenario sentral ($c_i = 1$, $\varphi = 1$) menjadi $(1 + \Delta p_i)^{\varepsilon i,k}$; emisi 2025–2026 sama dengan BAU. Sebagai ilustrasi, pada S1 tahun 2030 pajak per GJ batubara Rp30.000 × 0,0961 = Rp2.883 dibagi harga batubara (USD 70 ÷ 25 GJ) × Rp17.700 = Rp49.560 menghasilkan Δp = 5,82%; dengan elastisitas −0,493 faktor penyesuaiannya 0,9725, sehingga emisi batubara menjadi 584,9 × 0,9725 = 568,8 $MtCO_2$. Bersama minyak (turun 1,1 $MtCO_2$) dan gas (turun 0,7 $MtCO_2$), total emisi menjadi 913,5 $MtCO_2$.

Analisis sensitivitas dan strategi validasi

Analisis sensitivitas mengubah satu parameter setiap kali: (1) elastisitas × 0,5 dan × 1,5; (2) kalibrasi domestik batubara (elastisitas tahun pertama −0,2 dan λ = 0,54; Burke & Kurniawati, 2018); (3) *pass-through* 50% dan 25%; (4) harga efektif batubara PLN USD 1,9/GJ; (5) cakupan hanya batubara; (6) cakupan 30% emisi batubara sebagai representasi *cap-and-tax*; (7) λ = 0,5 dan 0,8; serta (8) kurs Rp16.500. Validasi baseline dilakukan terhadap emisi aktual melalui uji holdout dan *rolling-origin*. Karena pajak belum pernah berlaku, hasil simulasi pajak divalidasi secara eksternal dengan membandingkan parameter perilaku terhadap estimasi domestik Burke dan Kurniawati (2018) serta jalur penurunan emisi S1 terhadap bukti ex-post lintas negara Best et al. (2020).

Hasil

Validasi baseline dan proyeksi BAU

Tidak ada metode proyeksi yang unggul secara konsisten (Tabel 3): tren linear paling akurat pada uji holdout, drift dan kombinasi unggul pada *rolling-origin*, sedangkan Holt *damped trend* paling kurang akurat karena parameter pemulusannya cenderung mencapai batas nilai dengan hanya 11 observasi.

Tabel 3. Akurasi metode proyeksi (MAPE total emisi, %)

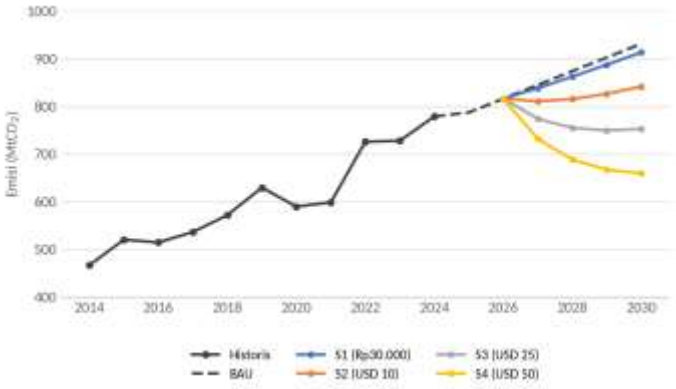
Metode	Holdout 2022–2024	Rolling-origin 1 langkah	Proyeksi 2030 ($MtCO_2$)
Drift	14,5	6,9	966,3
Tren linear	11,1	7,1	922,4
Holt *damped trend*	16,2	8,4	905,7
Kombinasi (dipakai)	13,9	7,0	931,5

MAPE holdout yang lebih tinggi (11–16%) dibandingkan validasi satu langkah (sekitar 7%) terjadi karena semua metode gagal mengantisipasi lonjakan emisi batubara 2022, yang mengindikasikan patahan struktural yang diduga terkait pembangkit batubara *captive* untuk pengolahan mineral; karena itu rentang antarmetode turut dilaporkan. Baseline kombinasi memproyeksikan emisi 931,5 $MtCO_2$ pada 2030 (rentang 905,7–966,3), dengan batubara 584,9 $MtCO_2$ (62,8%), minyak 241,6 $MtCO_2$, dan gas 105,0 $MtCO_2$

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Volume : 06 | Nomor 03 | November 2026 | E-ISSN : 2797-7161 | DOI: doi.org/jebma.v6n3.9744

(Gambar 1). Rata-rata pertambahan emisi baseline sekitar 29 $MtCO_2$ per tahun menjadi tolok ukur untuk menilai dampak pajak.



Gambar 1. Emisi CO_2 bahan bakar fosil Indonesia: historis 2014–2024 (Our World in Data, 2025) dan proyeksi 2025–2030 (hasil simulasi penulis)

Kenaikan harga bahan bakar

Beban pajak sangat tidak merata antarbahan bakar (Tabel 4). Selain intensitas karbon batubara yang lebih tinggi, faktor yang lebih menentukan adalah harga per unit energi: batubara DMO hanya sekitar Rp49.600 per GJ, sedangkan Biosolar dan Pertalite sekitar Rp188.000 dan Rp305.000 per GJ, sehingga tekanan proporsional pajak pada batubara empat hingga enam kali lebih besar daripada pada BBM.

Tabel 4. Tambahan biaya dan kenaikan harga per bahan bakar

Skenario	Batubara (Rp/ton; % harga)	Solar (Rp/liter)	Bensin (Rp/liter)	Minyak (% harga)	Gas (USD/MMBtu; % harga)
S1 Rp30.000	72.075; 5,8%	80	68	0,9%	0,10; 1,4%
S2 USD 10	425.242; 34,3%	474	402	5,5%	0,59; 8,5%
S3 USD 25	1.063.106; 85,8%	1.184	1.005	13,7%	1,48; 21,1%
S4 USD 50	2.126.212; 171,6%	2.369	2.011	27,5%	2,96; 42,3%

Pada tarif minimum, harga Biosolar hanya naik Rp80 per liter (sekitar 1,2%), dan pada USD 25 kenaikannya (Rp1.184 per liter) masih lebih kecil daripada beberapa penyesuaian harga BBM bersubsidi sebelumnya, sedangkan harga batubara pembangkit hampir berlipat dua. Pajak karbon di Indonesia pada dasarnya adalah pajak atas batubara, dengan konsekuensi ekonomi terkonsentrasi pada sektor kelistrikan dan industri pengguna batubara.

Dampak terhadap emisi

Tarif minimum UU HPP menurunkan emisi 2030 hanya 1,9% atau 17,9 $MtCO_2$ (Tabel 5), lebih kecil dari pertambahan emisi baseline setahun, sehingga praktis hanya menunda pertumbuhan emisi kurang dari satu tahun. Dampak meningkat seiring tarif tetapi tidak proporsional: menaikkan tarif lima kali dari USD 10 ke USD 50 hanya meningkatkan penurunan sekitar tiga kali, dari 9,6% menjadi 29,2% (*diminishing returns*).

Tabel 5. Dampak pajak karbon terhadap emisi CO_2 (skenario sentral)

Skenario	Emisi 2030 ($MtCO_2$)	Penurunan 2030 ($MtCO_2$)	Penurunan 2030 (% BAU)	Penurunan kumulatif 2027–2030 ($MtCO_2$)	Porsi batubara dalam penurunan
BAU	931,5	–	–	–	–
S1 Rp30.000	913,5	17,9	1,9%	51,2	89,6%
S2 USD 10	841,8	89,7	9,6%	258,8	88,2%
S3 USD 25	752,9	178,6	19,2%	521,8	86,2%

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Skenario	Emisi 2030 ($MtCO_2$)	Penurunan 2030 ($MtCO_2$)	Penurunan 2030 (% BAU)	Penurunan kumulatif 2027–2030 ($MtCO_2$)	Porsi batubara dalam penurunan
S4 USD 50	659,4	272,0	29,2%	806,6	83,6%

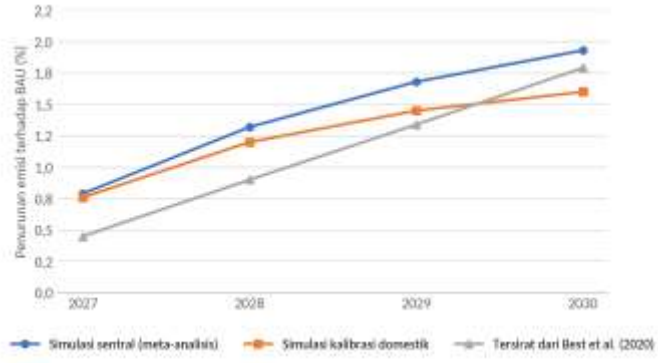
Batubara menyumbang 84–90% penurunan emisi di semua skenario, jauh melampaui porsinya dalam baseline (62,8%); pada S4, penurunan dari minyak dan gas hanya 28,1 dan 16,4 $MtCO_2$, dibandingkan sekitar 227 $MtCO_2$ dari batubara. Secara dinamis (Gambar 1), pada S2 emisi kembali naik sejak 2028, pada S3 naik lagi pada 2030, dan hanya pada S4 emisi terus menurun hingga 2030. Setelah penyesuaian perilaku sebagian besar selesai, pertumbuhan baseline kembali mendominasi, sehingga tarif yang tetap secara nominal hanya menghasilkan penurunan satu kali. Penerimaan 2030 dengan cakupan penuh diperkirakan sekitar Rp27 triliun pada S1 (sejalan dengan estimasi DJP sekitar Rp23 triliun) dan Rp149 triliun pada S2, tetapi jauh lebih kecil dalam skema *cap-and-tax*.

Validasi eksternal parameter perilaku dan besaran dampak

Elastisitas batubara tahun pertama dalam model (−0,207) hampir identik dengan estimasi domestik Burke dan Kurniawati (2018) (sekitar −0,2), sehingga dampak 2027 terkalibrasi baik. Namun, elastisitas tahun keempat model (−0,493) sekitar 23% lebih besar daripada estimasi domestik (sekitar −0,4), penyesuaian di Indonesia lebih cepat ($\lambda \approx 0{,}54$ atau waktu paruh 1,1 tahun, dibandingkan 0,66 atau 1,7 tahun), dan elastisitas jangka panjang implisitnya lebih kecil ($\approx -0{,}44$ dibandingkan −0,608). Sebagian perbedaan ini wajar karena permintaan batubara juga merespons melalui substitusi bahan bakar dan penggunaan di luar sektor listrik, tetapi sebagian mungkin mencerminkan bahwa rata-rata global sedikit melebih-lebihkan responsivitas pasar batubara Indonesia.

Kedua perbedaan bergerak berlawanan arah. Dengan kalibrasi domestik penuh, penurunan emisi 2030 menjadi 1,6% (S1), 8,1% (S2), 16,4% (S3), dan 25,5% (S4), atau 12–17% lebih rendah daripada estimasi sentral (Tabel 6). Efek elastisitas lebih dominan, tetapi kesimpulan tidak berubah: tarif minimum tetap menghasilkan penurunan di bawah 2% dan urutan efektivitas antarskenario tetap sama, sehingga hasil ini dapat dibaca sebagai batas bawah yang realistis.

Jalur tahunan S1 juga dibandingkan dengan jalur yang tersirat dari Best et al. (2020): tarif Rp30.000 per ton (sekitar 1,5 euro) berkaitan dengan laju pertumbuhan emisi sekitar 0,45 poin persentase per tahun lebih rendah (Gambar 2). Simulasi menghasilkan penurunan besar di awal lalu melandai, sedangkan jalur Best et al. (2020) meningkat hampir linear; pada 2027 penurunan simulasi (0,76–0,79%) hampir dua kali penurunan tersirat (0,45%), tetapi ketiga jalur bertemu pada kisaran 1,6–1,9% pada 2030. Dampak kumulatif tarif minimum karenanya dapat diyakini berada pada kisaran tersebut, sedangkan hasil tahun-tahun awal sebaiknya dibaca sebagai batas atas karena kontrak batubara dan perjanjian jual-beli listrik jangka panjang dapat memperlambat respons.



Gambar 2. Jalur penurunan emisi skenario S1 terhadap BAU menurut tiga pendekatan, 2027–2030

Bentuk jalurnya pun berbeda. Kedua simulasi menghasilkan penurunan yang besar di awal lalu melandai, sedangkan jalur Best et al. (2020) meningkat hampir linear karena koefisiennya mengukur efek

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Volume : 06 | Nomor 03 | November 2026 | E-ISSN : 2797-7161 | DOI: doi.org/jebma.v6n3.9744

terhadap laju pertumbuhan emisi, bukan tingkat emisi. Pada 2027, penurunan hasil simulasi (0,76–0,79%) hampir dua kali lipat penurunan tersirat dari bukti lintas negara (0,45%), tetapi ketiga jalur bertemu pada kisaran 1,6–1,9% pada 2030, dengan jalur Best et al. (2020) di antara kedua simulasi. Kesesuaian ini memberi keyakinan bahwa dampak kumulatif tarif minimum berada pada kisaran tersebut, sedangkan hasil tahun-tahun awal sebaiknya dibaca sebagai batas atas karena kontrak pasokan batubara dan perjanjian jual-beli listrik jangka panjang dapat memperlambat respons. Perbandingan ini paling relevan untuk S1 dan tidak dapat diekstrapolasi secara linear ke tarif yang jauh lebih tinggi.

Analisis sensitivitas

Hasil paling sensitif terhadap parameter desain kebijakan, yaitu cakupan pajak dan penerusan harga, dan relatif kurang sensitif terhadap parameter perilaku serta nilai tukar (Tabel 6).

Tabel 6. Penurunan emisi 2030 (% terhadap BAU) pada berbagai asumsi

Asumsi	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**
Sentral	1,9	9,6	19,2	29,2
Elastisitas × 0,5	1,0	5,0	10,2	16,2
Elastisitas × 1,5	2,9	14,0	27,0	39,7
Kalibrasi domestik penuh batubara ($\varepsilon^{SR} = -0{,}2$; $\lambda = 0{,}54$)	1,6	8,1	16,4	25,5
Pass-through 50%	1,0	5,3	11,5	19,2
Pass-through 25%	0,5	2,8	6,5	11,5
Harga efektif batubara PLN (USD 1,9/GJ)	2,7	12,6	23,5	33,9
Cakupan hanya batubara	1,7	8,5	16,5	24,4
Cap-and-tax (30% emisi batubara)	0,5	2,5	5,0	7,3
Penyesuaian cepat ($\lambda = 0{,}5$)	2,2	10,8	21,4	32,3
Penyesuaian lambat ($\lambda = 0{,}8$)	1,6	8,0	16,1	24,8
Kurs Rp16.500 per USD	2,1	9,6	19,1	29,0

Elastisitas × 0,5 atau × 1,5 menggeser dampak S4 dari 29,2% menjadi 16,2% atau 39,7%, sedangkan $\lambda = 0{,}5$ menaikkan dampak sekitar 10–15% dan $\lambda = 0{,}8$ menurunkannya sekitar 15–17%. Harga efektif batubara PLN justru meningkatkan dampak, yang mempertegas peran harga batubara yang diatur sebagai pengungkit efektivitas pajak, sementara nilai tukar hampir tidak berpengaruh karena efeknya pada tarif dan harga energi dalam dolar saling meniadakan.

Yang paling penting, desain kebijakan mendominasi ketidakpastian. *Cap-and-tax* dengan cakupan 30% emisi batubara memangkas dampak sekitar tiga perempat, dan penerusan harga 25% memangkasnya 61–74%, lebih besar daripada pengaruh menggandakan atau membagi dua elastisitas. Gabungan asumsi pesimistis (elastisitas × 0,5 dan *pass-through* 25%) menghasilkan penurunan hanya 0,2% pada S1 dan 6,0% pada S4, sedangkan elastisitas × 1,5 dengan penerusan penuh menghasilkan 2,9% dan 39,7%. Ketidakpastian terbesar dengan demikian terletak pada pilihan desain yang sepenuhnya berada dalam kendali pemerintah, bukan pada perilaku pasar.

Pembahasan

Hasil simulasi membawa empat pesan kebijakan. *Pertama*, tarif minimum UU HPP terlalu rendah untuk menjadi instrumen mitigasi yang berarti. Nilai utamanya terletak pada fungsi kelembagaan: membangun sistem pengukuran, pelaporan, dan verifikasi (MRV) emisi tingkat fasilitas, membiasakan pelaku usaha dengan kewajiban atas emisi, dan memberi sinyal bahwa emisi akan semakin mahal. Persoalannya adalah memastikan tarif rendah menjadi titik awal dari lintasan yang jelas.

Kedua, terdapat paradoks harga energi yang diatur. Harga batubara DMO yang rendah membuat pajak secara teoretis sangat kuat, tetapi logika keterjangkauan tarif listrik yang menghasilkan harga rendah tersebut juga mendorong penetralan pajak melalui kompensasi APBN kepada PLN, yang dapat mengurangi efektivitas hingga tiga perempat. Sinyal harga harus sampai ke keputusan *dispatch* dan pilihan bahan bakar pembangkit, sehingga perlindungan konsumen perlu dipisahkan dari kebijakan harga karbon, misalnya melalui kompensasi langsung kepada rumah tangga rentan.

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Ketiga, desain *cap-and-tax* sangat menentukan. Ketika pajak hanya berlaku atas emisi di atas batas, efek tarif minimum turun dari 1,9% menjadi 0,5%, dan fasilitas di bawah batas tidak memiliki insentif marginal untuk mengurangi emisi. Efektivitasnya bergantung pada pengetatan batas secara berkala dan integrasi dengan pasar karbon; tanpa keduanya, pajak karbon berisiko ada secara hukum tetapi hampir tidak bekerja secara ekonomi.

Keempat, konteks makroekonomi 2026, yaitu ICP rata-rata sekitar USD 91 per barel pada Januari–Mei 2026 di atas asumsi APBN (Warta Ekonomi, 2026a) dan rupiah di kisaran Rp17.700 per USD, mempersempit ruang politik. Namun, beban pajak pada BBM sebenarnya kecil, sedangkan beban pada batubara pembangkit dapat dikelola melalui *revenue recycling*: penerimaan sekitar Rp27 triliun pada tarif minimum dapat dialokasikan untuk kompensasi rumah tangga rentan dan pendanaan transisi energi. Sifat progresif pajak karbon di Indonesia (Yusuf & Resosudarmo, 2015) memperkuat penerimaan sosial atas desain ini.

Keterbatasan dan agenda penelitian lanjutan

Penelitian ini memiliki keterbatasan: (1) baseline didasarkan pada 11 observasi tanpa RUPTL atau target bauran energi terbarukan, sehingga merupakan proyeksi tren; (2) fungsi elastisitas konstan diterapkan pada kenaikan harga batubara 86–172% pada S3 dan S4, di luar rentang data literatur, sehingga hasilnya merupakan indikasi besaran; (3) elastisitas berasal dari meta-analisis global, dan elastisitas batubara didekati dengan elastisitas energi agregat; (4) substitusi antarbahan bakar dan umpan balik makroekonomi tidak dimodelkan, sehingga pergeseran batubara ke gas dapat memperkecil penurunan bersih; (5) respons konsumen listrik dan substitusi bahan bakar di pembangkit digabung dalam satu elastisitas dan satu φ; (6) φ dan λ tidak diestimasi langsung dari data Indonesia; dan (7) sebagai simulasi ex-ante, hasilnya hanya dapat diperiksa melalui validasi eksternal dan analisis sensitivitas. Penelitian lanjutan dapat mengestimasi elastisitas batubara Indonesia dengan data panel provinsi atau pembangkit, memodelkan substitusi melalui elastisitas silang atau model LEAP, serta mengintegrasikannya dengan model CGE.

Kesimpulan

Tanpa pajak karbon, emisi CO_2 pembakaran bahan bakar fosil Indonesia diproyeksikan naik dari 779,0 $MtCO_2$ pada 2024 menjadi 931,5 $MtCO_2$ pada 2030, dengan batubara menyumbang hampir dua pertiga. Tarif minimum UU HPP hanya menurunkan emisi 2030 sebesar 1,9%, sedangkan tarif USD 10, USD 25, dan USD 50 menurunkannya 9,6%, 19,2%, dan 29,2%. Batubara menyumbang 84–90% penurunan karena harganya yang diatur rendah membuat beban pajak besar secara proporsional. Hasil tarif minimum konsisten dengan bukti ex-post lintas negara, dan elastisitas meta-analisis tidak jauh berbeda dari estimasi domestik. Temuan terpenting adalah bahwa efektivitas pajak karbon lebih ditentukan oleh desain kebijakan, khususnya cakupan dan penerusan harga, daripada parameter perilaku.

Penelitian ini merekomendasikan: (1) menetapkan lintasan tarif terjadwal dari tarif minimum menuju USD 10–25 per ton agar pelaku usaha dapat merencanakan investasi rendah karbon dan penurunan emisi tidak hanya terjadi sekali; (2) memperketat batas emisi *cap-and-tax* setiap tahun dan mengintegrasikannya dengan pasar karbon agar fasilitas di bawah batas tetap memiliki insentif; (3) menjaga sinyal harga dengan tidak mengompensasi sepenuhnya tambahan biaya PLTU melalui APBN, dan melindungi konsumen melalui transfer langsung kepada rumah tangga rentan yang dibiayai penerimaan pajak karbon; serta (4) memadukan pajak karbon dengan kebijakan struktural seperti pensiun dini PLTU, standar emisi pembangkit, dan percepatan energi terbarukan.

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Referensi

Best, R., Burke, P. J., & Jotzo, F. (2020). Carbon pricing efficacy: Cross-country evidence. *Environmental and Resource Economics, 77*(1), 69–94. https://doi.org/10.1007/s10640-020-00436-x

Bisnis.com. (2026, 15 September). *Cek kurs dolar AS di BCA, BRI, Mandiri, dan BNI hari ini, 15 September 2026*. https://finansial.bisnis.com/read/20260915/90/2004225/cek-kurs-dolar-as-di-bca-bri-mandiri-dan-bni-hari-ini-15-september-2026

Burke, P. J., & Kurniawati, S. (2018). Electricity subsidy reform in Indonesia: Demand-side effects on electricity use. *Energy Policy, 116*, 410–421. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.02.018

Dahl, C., & Kurtubi. (2001). Estimating oil product demand in Indonesia using a co-integration error correction model. *OPEC Review, 25*, 1–21.

DDTCNews. (2025, 18 November). *Pajak karbon tak kunjung berlaku, Kemenkeu beberkan alasannya*. https://news.ddtc.co.id/berita/nasional/1815284/pajak-karbon-tak-kunjung-berlaku-kemenkeu-beberkan-alasannya

Direktorat Jenderal Pajak [DJP]. (t.t.). *Pajak karbon, solusi pendanaan APBN yang berkelanjutan?* https://www.pajak.go.id/en/node/113480

Döbbeling-Hildebrandt, N., Miersch, K., Khanna, T. M., et al. (2024).* Systematic review and meta-analysis of ex-post evaluations on the effectiveness of carbon pricing. *Nature Communications, 15*. https://www.nature.com/articles/s41467-024-48512-w

Fabra, N., & Reguant, M. (2014). Pass-through of emissions costs in electricity markets. *American Economic Review, 104*(9), 2872–2899. https://doi.org/10.1257/aer.104.9.2872

Gardner, E. S., & McKenzie, E. (1985). Forecasting trends in time series. *Management Science, 31*(10), 1237–1246.*

Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and practice* (3rd ed.). OTexts.*

IDXChannel. (2026, 25 Juni). *Wamen ESDM tegaskan harga gas HGBT, industri, dan listrik tidak naik*. https://www.rctiplus.com/news/detail/terkini/5414294/wamen-esdm-tegaskan-harga-gas-hgbt–industri–dan-listrik-tidak-naik

IPCC. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 2: Energy*. Institute for Global Environmental Strategies.*

Kontan. (2025, 17 November). *Menteri Bahlil pastikan harga batubara DMO tetap US$70 per ton*. https://industri.kontan.co.id/news/menteri-bahlil-pastikan-harga-batubara-dmo-tetap-us70-per-ton

Koyck, L. M. (1954). *Distributed lags and investment analysis*. North-Holland.*

Labandeira, X., Labeaga, J. M., & López-Otero, X. (2017). A meta-analysis on the price elasticity of energy demand. *Energy Policy, 102*, 549–568. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.002

Lilliestam, J., Patt, A., & Bersalli, G. (2022). On the quality of emission reductions: Observed effects of carbon pricing on investments, innovation, and operational shifts. A response to van den Bergh and Savin (2021). *Environmental and Resource Economics*. https://doi.org/10.1007/s10640-022-00708-8

Nerlove, M. (1958). *Distributed lags and demand analysis for agricultural and other commodities* (Agriculture Handbook No. 141). U.S. Department of Agriculture.*

Olivia, S., & Gibson, J. (2008). Household energy demand and equity and efficiency aspects of subsidy reform in Indonesia. *The Energy Journal, 29*, 21–40.

Our World in Data. (2025). *CO2 and greenhouse gas emissions dataset* [Data set]. https://github.com/owid/co2-data

Parry, I., Black, S., & Roaf, J. (2021). *Proposal for an international carbon price floor among large emitters* (IMF Staff Climate Notes 2021/001). International Monetary Fund. https://doi.org/10.5089/9781513583204.066

PERHAPI. (2026, 9 Maret). *Kementerian ESDM amankan 150 juta ton batubara untuk DMO tahun 2026*. https://perhapi.or.id/kementerian-esdm-amankan-150-juta-ton-batubara-untuk-dmo-tahun-2026/

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

RRI. (2026, 10 Juni). *Pertamina pastikan harga Pertalite dan Biosolar tetap*. https://rri.co.id/nasional/2481146/pertamina-pastikan-harga-pertalite-dan-biosolar-tetap

Sa'ad, S. (2009). An empirical analysis of petroleum demand for Indonesia: An application of the cointegration approach. *Energy Policy, 37*, 4391–4396.

Tempo. (2025, 18 November). *Kementerian Keuangan: Pajak karbon belum prioritas di APBN 2026*. https://www.tempo.co/ekonomi/kementerian-keuangan-pajak-karbon-belum-prioritas-di-apbn-2026-2090593

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan.

Warta Ekonomi. (2026a, 26 Juni). *Jaga daya saing, pemerintah pastikan harga gas HGBT industri dan listrik tidak naik*. https://wartaekonomi.co.id/read619209/jaga-daya-saing-pemerintah-pastikan-harga-gas-hgbt-industri-dan-listrik-tidak-naik

Warta Ekonomi. (2026b, 23 Juni). *DMO batu bara PLN jadi sorotan, harga efektif penambang disebut hanya US$35–US$38 per ton*. https://wartaekonomi.co.id/read618506/dmo-batu-bara-pln-jadi-sorotan-harga-efektif-penambang-disebut-hanya-us35-us38-per-ton

Yusuf, A. A., & Resosudarmo, B. P. (2015). On the distributional impact of a carbon tax in developing countries: The case of Indonesia. *Environmental Economics and Policy Studies, 17*(1), 131–156.* *Referensi bertanda bintang (*) dikutip dari pengetahuan umum dan belum dibuka langsung saat penyusunan draf ini; mohon verifikasi detail bibliografinya sebelum pengiriman.*

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License