



Pengaruh Penggunaan BBM, Efisiensi Energi, dan Green Manufacturing terhadap Emisi Karbon PT Astra International Tbk

Chava Annastasia Candra^{1*}, Hwihanus²

^{1,2} Universitas 17 agustus 1945 Surabaya, Indonesia

¹122230090@surel.untag-sby.ac.id ²hwihanus@untag-sby.ac.id

Alamat: Jl. Semolowaru No.45, Menur Pumpungan, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60118

Abstract. The automotive manufacturing industry relies heavily on fossil fuel-based energy, resulting in significant carbon emissions. As the largest automotive manufacturing company in Indonesia, PT Astra International Tbk operates at a scale that makes effective energy management and emission control critical for long-term sustainability. This study aims to examine the effects of fuel type, fuel consumption volume, energy efficiency, and green manufacturing policies on carbon emissions at PT Astra International Tbk. A quantitative research design was applied using secondary data derived from sustainability reports, energy management reports, and fuel consumption records of Astra Group manufacturing units during the 2020–2024 period. Samples were selected through purposive sampling based on data availability and completeness. Data were analyzed using Partial Least Squares–Structural Equation Modeling (PLS-SEM) with SmartPLS software. The findings reveal that fuel consumption volume has a positive and significant effect on carbon emissions, whereas fuel type, energy efficiency, and green manufacturing policies do not exhibit statistically significant effects. These results indicate that managing and reducing fuel consumption volume is a key strategy for lowering carbon emissions in the automotive manufacturing sector. This study contributes to the literature on energy and environmental management and provides practical implications for corporate managers and policymakers in designing sustainable energy use and emission reduction strategies..

Keywords: Carbon Emissions, Fuel Consumption, Energy Efficiency, Green Manufacturing, Automotive Manufacturing Industry

Abstrak. Industri manufaktur otomotif merupakan sektor dengan tingkat konsumsi energi berbasis bahan bakar minyak (BBM) yang tinggi sehingga berpotensi menghasilkan emisi karbon dalam jumlah besar. PT Astra International Tbk sebagai perusahaan otomotif terbesar di Indonesia memiliki skala operasional yang luas, sehingga pengelolaan energi dan pengendalian emisi karbon menjadi aspek penting dalam mendukung keberlanjutan perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis BBM, volume penggunaan BBM, efisiensi energi, dan kebijakan green manufacturing terhadap emisi karbon pada PT Astra International Tbk. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data sekunder yang diperoleh dari laporan keberlanjutan, laporan pengelolaan energi, dan data konsumsi BBM unit-unit manufaktur Astra Group periode 2020–2024. Penentuan sampel dilakukan dengan teknik purposive sampling berdasarkan kelengkapan data. Analisis data dilakukan menggunakan metode Partial Least Squares–Structural Equation Modeling (PLS-SEM) dengan bantuan perangkat lunak SmartPLS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume penggunaan BBM berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon, sedangkan jenis BBM, efisiensi energi, dan kebijakan green manufacturing tidak berpengaruh signifikan secara statistik. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengendalian volume konsumsi BBM merupakan faktor kunci dalam upaya penurunan emisi karbon pada industri manufaktur otomotif, serta memberikan implikasi praktis bagi manajemen perusahaan dan pembuat kebijakan dalam merumuskan strategi pengelolaan energi yang berkelanjutan.

Kata kunci: Emisi Karbon, Bahan Bakar Minyak, Volume Penggunaan BBM, Efisiensi Energi, Green Manufacturing

1. LATAR BELAKANG

Aktivitas industri manufaktur tidak terlepas dari penggunaan energi berbasis bahan bakar minyak (BBM) sebagai penunjang utama proses produksi dan distribusi. Tingginya intensitas pemanfaatan energi berbasis fosil menyebabkan sektor manufaktur berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer (Constantia, M.,

2022; (Efi Lismiyah et al., 2024). Dalam konteks keberlanjutan lingkungan, kondisi tersebut menuntut perusahaan manufaktur, khususnya yang beroperasi dalam skala besar, untuk memiliki peran aktif dalam pengelolaan energi dan pengendalian emisi karbon secara sistematis.

Sebagai salah satu kelompok usaha terbesar di Indonesia, PT Astra International Tbk menjalankan kegiatan operasional yang mencakup industri otomotif dan manufaktur komponen dengan tingkat aktivitas produksi yang tinggi, sehingga kebutuhan energi dan potensi emisi karbon yang dihasilkan menjadi relatif besar (PT Astra International Tbk, 2023). Perbedaan jenis BBM yang digunakan serta besaran volume konsumsinya merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi tingkat emisi karbon yang dihasilkan oleh perusahaan.

Upaya pengurangan emisi karbon tidak hanya dapat dilakukan melalui pembatasan penggunaan BBM, tetapi juga melalui peningkatan efisiensi energi yang memungkinkan perusahaan menghasilkan output yang sama dengan konsumsi energi yang lebih rendah (Wang, 2013; Efi Lismiyah et al., 2024). Penerapan teknologi yang lebih efisien, perbaikan proses produksi, serta penerapan sistem manajemen energi yang terintegrasi dapat menekan intensitas energi sekaligus meningkatkan kinerja lingkungan dan efisiensi biaya operasional perusahaan.

Selain itu, kebijakan green manufacturing menjadi pendekatan strategis yang semakin relevan dalam menghadapi tantangan lingkungan di sektor manufaktur. Konsep ini menekankan integrasi aspek lingkungan dalam seluruh aktivitas produksi, mulai dari pemilihan sumber energi, pengurangan emisi, hingga penggunaan teknologi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Penerapan kebijakan green manufacturing diharapkan mampu memperkuat upaya efisiensi energi dan mengurangi dampak negatif penggunaan BBM terhadap lingkungan.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas keterkaitan antara konsumsi energi dan emisi karbon, studi yang secara bersamaan mengkaji pengaruh jenis dan volume penggunaan BBM, efisiensi energi, serta kebijakan green manufacturing pada perusahaan manufaktur besar di Indonesia masih terbatas. Keterbatasan tersebut menunjukkan adanya kebutuhan akan penelitian yang lebih komprehensif dengan fokus pada konteks nasional dan karakteristik perusahaan berskala besar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis BBM, volume penggunaan BBM, efisiensi energi, dan kebijakan green manufacturing terhadap emisi karbon pada PT Astra International Tbk. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi akademik serta menjadi acuan praktis bagi manajemen perusahaan dan membuat kebijakan dalam merumuskan strategi pengelolaan energi dan pengurangan emisi karbon yang berkelanjutan.

2. KAJIAN TEORITIS

Kajian teoritis bertujuan untuk memberikan dasar konseptual dalam menjelaskan hubungan antara penggunaan energi dan emisi karbon pada perusahaan manufaktur. Kerangka teori dalam penelitian ini disusun dengan mengacu pada Sustainability Theory, Energy Consumption Model, dan Green Manufacturing Theory yang digunakan untuk menjelaskan keterkaitan antara jenis dan volume penggunaan bahan bakar minyak, efisiensi energi, kebijakan green manufacturing, serta emisi karbon.

Sustainability Theory menekankan bahwa keberlanjutan perusahaan tidak hanya ditentukan oleh pencapaian ekonomi, tetapi juga oleh kemampuan perusahaan dalam mengelola dampak sosial dan lingkungan yang timbul dari aktivitas operasionalnya (Porter, 1995; Constantia, 2022). Dalam konteks lingkungan, perusahaan memiliki kewajiban untuk mengendalikan emisi karbon sebagai salah satu dampak utama dari penggunaan energi berbasis bahan bakar fosil. Industri otomotif sebagai sektor dengan tingkat konsumsi energi yang tinggi dituntut untuk menerapkan strategi pengelolaan energi yang berkelanjutan guna menekan dampak lingkungan.

Energy Consumption Model menjelaskan bahwa tingkat emisi karbon memiliki hubungan langsung dengan besarnya konsumsi energi berbasis fosil, di mana peningkatan volume konsumsi BBM akan diikuti oleh kenaikan emisi karbon yang dihasilkan perusahaan (Wang, 2013; Efi Lismiyah et al., 2024). Peningkatan volume penggunaan bahan bakar minyak dalam proses produksi akan meningkatkan emisi karbon sesuai dengan karakteristik dan faktor emisi masing-masing bahan bakar. Oleh karena itu, volume konsumsi energi menjadi variabel kunci dalam menjelaskan perubahan tingkat emisi karbon pada perusahaan manufaktur berskala besar.

Green Manufacturing Theory merupakan pendekatan operasional yang menekankan integrasi aspek lingkungan dalam sistem produksi melalui penggunaan teknologi ramah lingkungan, efisiensi proses, serta pengurangan emisi industri (Kirana et al., 2023; Hao Zeng et al., 2024). Penerapan green manufacturing dilakukan melalui peningkatan efisiensi proses, penggunaan teknologi ramah lingkungan, serta pengurangan ketergantungan pada energi fosil. Namun, efektivitas penerapan kebijakan ini sangat dipengaruhi oleh tingkat implementasi, komitmen manajemen, serta dukungan investasi teknologi. Berdasarkan ketiga pendekatan teoritis tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengelolaan energi dan kebijakan produksi ramah lingkungan memiliki peran penting dalam upaya pengendalian emisi karbon perusahaan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan tujuan menguji hubungan kausal antara jenis bahan bakar minyak, volume penggunaan BBM, efisiensi energi, serta kebijakan green manufacturing terhadap tingkat emisi karbon pada PT Astra International Tbk. Pendekatan kuantitatif dipilih karena memungkinkan pengukuran variabel secara objektif dalam bentuk numerik serta pengujian hipotesis melalui pemodelan statistik yang terstruktur. Data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari laporan keberlanjutan, laporan pengelolaan energi, dan dokumentasi konsumsi BBM unit-unit manufaktur Astra Group selama periode 2020–2024. Penggunaan data sekunder ini didasarkan pada pertimbangan bahwa perusahaan telah memiliki sistem pelaporan energi dan emisi yang terstandarisasi serta disusun berdasarkan pedoman GHG Protocol, sehingga data dinilai layak dan konsisten untuk analisis empiris.

Populasi penelitian mencakup seluruh unit manufaktur di bawah Astra Group yang melaporkan data konsumsi energi dan emisi karbon secara periodik. Sampel penelitian ditentukan menggunakan teknik purposive sampling dengan kriteria utama berupa ketersediaan dan kelengkapan data terkait jenis BBM, volume penggunaan BBM, efisiensi energi, serta emisi karbon selama lima tahun pengamatan. Unit manufaktur yang tidak memenuhi kriteria tersebut tidak disertakan dalam analisis untuk menjaga keseragaman data dan meningkatkan kualitas hasil estimasi. Data dari unit-unit terpilih selanjutnya dianalisis menggunakan metode Partial Least Squares–Structural Equation Modeling (PLS-SEM) dengan bantuan perangkat lunak SmartPLS versi 4. Metode ini dipilih karena mampu mengolah model dengan jumlah sampel relatif terbatas, tidak mensyaratkan distribusi data normal, serta dapat menangani konstruk dengan indikator reflektif maupun formatif.

Proses analisis dimulai dengan evaluasi model pengukuran untuk memastikan kualitas konstruk yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh konstruk memenuhi kriteria validitas dan reliabilitas yang dipersyaratkan dalam PLS-SEM, yang ditunjukkan oleh nilai loading factor, Composite Reliability, dan Cronbach's Alpha yang berada di atas batas minimum yang direkomendasikan. Indikator yang tidak memenuhi kriteria kelayakan dieliminasi dari model agar diperoleh hasil estimasi yang lebih stabil dan akurat.

Tahap berikutnya adalah pengujian model struktural untuk menganalisis hubungan antar variabel laten. Kekuatan model dievaluasi melalui nilai koefisien determinasi dan relevansi prediktif, sedangkan pengaruh masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen dianalisis melalui koefisien jalur. Uji signifikansi hubungan dilakukan dengan

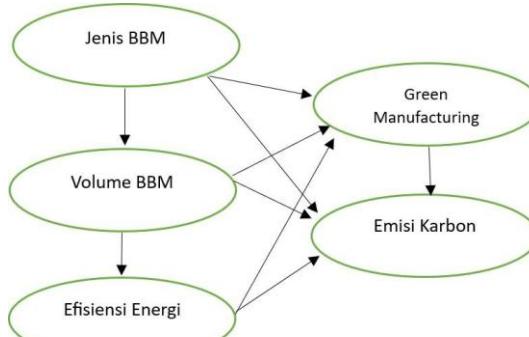
prosedur bootstrapping untuk memperoleh nilai statistik uji dan tingkat signifikansi sebagai dasar pengambilan keputusan hipotesis.

Variabel penelitian terdiri atas jenis BBM, volume penggunaan BBM, efisiensi energi, dan kebijakan green manufacturing sebagai variabel independen, serta emisi karbon sebagai variabel dependen. Masing-masing variabel diukur menggunakan indikator yang disusun berdasarkan standar pengukuran emisi dan pelaporan energi yang berlaku. Secara keseluruhan, rancangan metode penelitian ini disusun untuk memastikan bahwa analisis dilakukan secara sistematis, objektif, dan sesuai dengan kaidah ilmiah, sehingga hasil penelitian diharapkan mampu memberikan bukti empiris yang kuat mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi emisi karbon pada industri manufaktur otomotif.

Variabel	Kode	Indikator
Jenis BBM	X1.1	Solar Industri
	X1.2	Bensin Industri
	X1.3	LPG Industri
Volume BBM	X2.1	Liter BBM Per Tahun
	X2.2	Intensitas BBM per Unit Produksi
Efisiensi Energi	X3.1	Energi per Unit Produk
	X3.2	Efisiensi Mesin Produksi
Green Manufacturing	X4.1	ISO 14001
	X4.2	Teknologi Rendah Emisi
	X4.3	Proyek Pengurangan Emisi
Emisi Karbon	Y1.1	Total CO2-eq
	Y1.2	Emisi CO2 per Unit Output

Sumber : Data diolah penulis (2025).

Tabel 1. Variabel dan Indikator SmartPLS



Sumber : Data diolah penulis (2025).

Gambar 1. Variabel dan Indikator

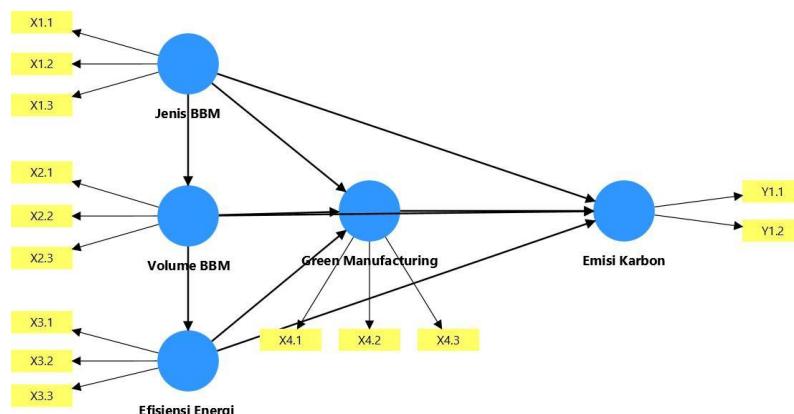
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian hasil dan pembahasan menguraikan temuan penelitian yang diperoleh dari analisis data serta penjelasan atas hasil yang dihasilkan. Pengolahan data dilakukan menggunakan pendekatan Partial Least Squares–Structural Equation Modeling (PLS-SEM) dengan bantuan perangkat lunak SmartPLS 4. Tahapan analisis dilaksanakan secara sistematis,

dimulai dari pengujian kelayakan model pengukuran hingga evaluasi model struktural. Rincian proses pengolahan data secara lengkap disajikan pada Lampiran.

Evaluasi Model Pengukuran

Evaluasi model pengukuran bertujuan untuk menilai sejauh mana indikator yang digunakan mampu merepresentasikan konstruk penelitian secara akurat dan konsisten. Uji validitas konvergen dilakukan dengan mengacu pada nilai loading factor, dengan ketentuan nilai minimum sebesar 0,50. Indikator yang memiliki nilai loading factor dibawah kriteria tersebut dikeluarkan dari model agar kualitas pengukuran konstruk tetap terjaga.



Sumber: Hasil olahan penulis menggunakan SmartPLS 4 (2025).

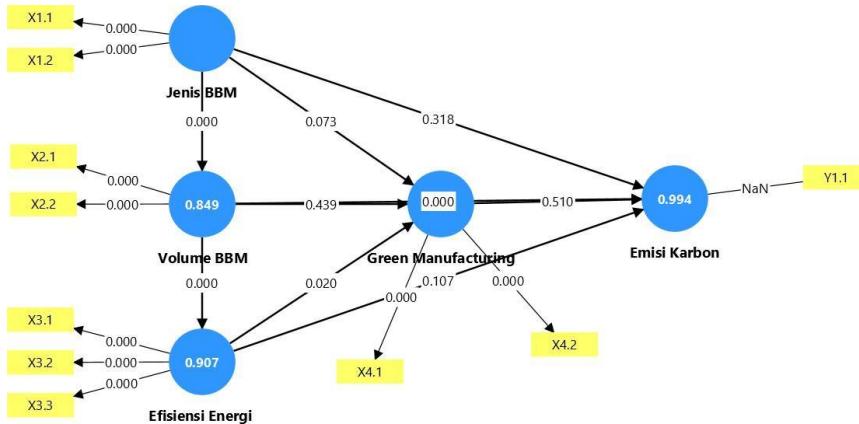
Gambar 2. Model Penelitian Sebelum Eliminasi Indikator

Gambar 2 menggambarkan model penelitian awal yang menunjukkan keterkaitan antara variabel jenis BBM, volume penggunaan BBM, efisiensi energi, green manufacturing, dan emisi karbon. Berdasarkan hasil evaluasi outer model, beberapa indikator yang tidak memenuhi persyaratan validitas dieliminasi dari model.

Evaluasi Model Struktural dan Pengujian Hipotesis

Setelah model pengukuran dinyatakan memenuhi kriteria kelayakan, tahap selanjutnya adalah evaluasi model struktural untuk menguji hubungan antar variabel laten dalam model penelitian. Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan prosedur

bootstrapping dengan tingkat signifikansi sebesar 5 persen ($\alpha = 0,05$). Hubungan antar variabel dinyatakan signifikan apabila nilai T-statistic $\geq 1,96$ dan p-value $\leq 0,05$.



Sumber: Hasil olahan penulis menggunakan SmartPLS 4 (2025).

Gambar 3. Hasil Bootstrapping Model Struktural

Gambar 3 menampilkan nilai koefisien jalur serta tingkat signifikansi masing-masing hubungan antar variabel penelitian. Untuk mempermudah pembacaan dan interpretasi hasil pengujian hipotesis, ringkasan nilai koefisien jalur, T-statistic, dan p-value disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 2. Hasil Path Coefficient

Path coefficients - Mean, STDEV, T values, p values					Copy to Excel/Word
	Original sample (O)	Sample mean (M)	Standard deviation (ST...)	T statistics (O/STDEV)	P values
Efisiensi Energi -> Emisi ...	-0.127	-0.119	0.079	1.614	0.107
Efisiensi Energi -> Green ...	0.753	0.768	0.325	2.320	0.020
Green Manufacturing -> ...	0.037	0.039	0.057	0.659	0.510
Jenis BBM -> Emisi Karbon	0.055	0.055	0.055	0.998	0.318
Jenis BBM -> Green Man...	0.386	0.358	0.215	1.794	0.073
Jenis BBM -> Volume BBM	0.921	0.920	0.027	33.791	0.000
Volume BBM -> Efisiensi ...	0.952	0.952	0.015	62.537	0.000
Volume BBM -> Emisi Ka...	1.034	1.023	0.052	19.917	0.000
Volume BBM -> Green M...	-0.177	-0.164	0.229	0.774	0.439

Sumber: Hasil olahan penulis menggunakan SmartPLS 4 (2025).

Keterangan: signifikan pada $\alpha = 0,05$

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 2, volume penggunaan BBM terbukti memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon. Hal ini ditunjukkan oleh nilai koefisien sebesar 1,034, nilai T-statistic sebesar 19,917, serta p-value sebesar 0,000. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan konsumsi BBM dalam aktivitas operasional perusahaan berkontribusi secara langsung terhadap peningkatan emisi karbon. Dengan demikian, hipotesis yang menyatakan adanya pengaruh volume penggunaan BBM terhadap emisi karbon dapat diterima.

Sebaliknya, variabel jenis BBM tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap emisi karbon, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai p-value sebesar 0,318. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan jenis bahan bakar yang digunakan belum memberikan dampak yang berarti

terhadap tingkat emisi karbon selama volume konsumsi energi tetap berada pada tingkat yang tinggi. Oleh karena itu, hipotesis yang berkaitan dengan pengaruh jenis BBM terhadap emisi karbon tidak dapat diterima.

Variabel efisiensi energi juga tidak terbukti berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon, dengan nilai p-value sebesar 0,107. Meskipun arah hubungan menunjukkan kecenderungan negatif, hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan efisiensi energi belum secara langsung berkontribusi pada penurunan emisi karbon. Selain itu, kebijakan green manufacturing tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap emisi karbon, yang ditunjukkan oleh nilai p-value sebesar 0,510. Hal ini mengindikasikan bahwa penerapan kebijakan green manufacturing belum menghasilkan dampak yang terukur dalam upaya pengurangan emisi karbon perusahaan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa volume penggunaan bahan bakar minyak merupakan faktor yang paling dominan dalam mempengaruhi tingkat emisi karbon. Temuan ini memperkuat kerangka Energy Consumption Model yang menyatakan bahwa konsumsi energi berbasis bahan bakar fosil merupakan determinan utama emisi karbon pada industri manufaktur (Wang, 2013; Constantia, 2022).

Pembahasan

Pada penelitian ini, kualitas indikator pada masing-masing variabel dievaluasi menggunakan nilai loading factor dengan ketentuan batas minimum sebesar 0,50. Indikator yang tidak memenuhi kriteria tersebut dikeluarkan dari model agar konstruk yang digunakan memiliki tingkat pengukuran yang memadai. Setelah tahapan evaluasi model pengukuran diselesaikan, analisis dilanjutkan dengan prosedur bootstrapping menggunakan perangkat lunak SmartPLS 4 untuk menguji model struktural. Hasil analisis tersebut menghasilkan nilai path coefficient yang menggambarkan hubungan antar variabel dalam model penelitian. Penilaian signifikansi pengaruh antar variabel dilakukan dengan mengacu pada nilai koefisien jalur, T-statistic, dan p-value.

Pengujian hipotesis dilakukan pada tingkat signifikansi sebesar 5 persen ($\alpha = 0,05$). Suatu hipotesis dinyatakan diterima apabila memiliki nilai T-statistic $\geq 1,96$ dan p-value $\leq 0,05$. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak seluruh variabel dalam model memberikan pengaruh yang signifikan terhadap emisi karbon. Meskipun beberapa variabel menunjukkan arah hubungan yang sejalan dengan kerangka teoritis, pengaruh tersebut

belum didukung oleh signifikansi statistik. Ringkasan hasil pengujian hubungan antar variabel secara keseluruhan disajikan pada tabel berikut.

Kode Hipotesis	Hubungan Variable	Original Sample (O)	T-Statistic	P-Value	Keterangan
H1	Jenis BBM → Emisi Karbon	0.055	0.998	0.318	Tidak Signifikan (Ditolak)
H2	Volume BBM → Emisi Karbon	1.034	19.917	0.000	Signifikan (Diterima)
H3	Efisiensi Energi → Emisi Karbon	-0.127	1.614	0.107	Tidak Signifikan (Ditolak)
H4	Green Manufacturing → Emisi Karbon	0.037	0.659	0.510	Tidak Signifikan (Ditolak)

H1: Pengaruh Jenis BBM terhadap Emisi Karbon

Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis bahan bakar minyak tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat emisi karbon. Hal ini ditunjukkan oleh nilai koefisien sebesar 0,055 dengan nilai T-statistic 0,998 dan p-value sebesar 0,318, yang berada di atas ambang signifikansi 0,05. Temuan ini mengindikasikan bahwa perbedaan jenis BBM yang digunakan dalam aktivitas produksi tidak secara nyata mempengaruhi besarnya emisi karbon yang dihasilkan perusahaan. Dengan demikian, hipotesis H1 tidak dapat diterima karena jenis BBM bukan merupakan determinan utama emisi karbon pada perusahaan.

H2: Pengaruh Volume Penggunaan BBM terhadap Emisi Karbon

Pengujian hipotesis kedua menunjukkan bahwa volume penggunaan BBM berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon. Nilai koefisien sebesar 1,034 dengan T-statistic sebesar 19,917 serta p-value 0,000 yang berada jauh di bawah tingkat signifikansi 0,05 menegaskan adanya hubungan yang kuat antara kedua variabel tersebut. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan volume konsumsi BBM dalam kegiatan operasional secara langsung meningkatkan emisi karbon yang dihasilkan perusahaan. Oleh karena itu, hipotesis H2 diterima dan volume penggunaan BBM diidentifikasi sebagai faktor paling dominan dalam mempengaruhi peningkatan emisi karbon.

H3: Pengaruh Efisiensi Energi terhadap Emisi Karbon

Berdasarkan hasil pengujian, efisiensi energi tidak terbukti memiliki pengaruh yang

signifikan terhadap emisi karbon. Nilai koefisien sebesar $-0,127$ dengan T-statistic $1,614$ dan p-value $0,107$ menunjukkan bahwa hubungan tersebut belum memenuhi kriteria signifikansi statistik pada tingkat $0,05$. Meskipun arah hubungan yang negatif mengindikasikan bahwa peningkatan efisiensi energi berpotensi menurunkan emisi karbon, bukti empiris yang diperoleh belum cukup kuat untuk mendukung pengaruh tersebut. Dengan demikian, hipotesis H3 dinyatakan tidak diterima.

H4: Pengaruh Green Manufacturing terhadap Emisi Karbon

Hasil pengujian hipotesis keempat menunjukkan bahwa kebijakan green manufacturing belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap emisi karbon. Nilai koefisien sebesar $0,037$ dengan T-statistic $0,659$ dan p-value $0,510$ mengindikasikan bahwa penerapan green manufacturing belum berdampak secara langsung terhadap penurunan emisi karbon perusahaan. Temuan ini mengisyaratkan bahwa implementasi kebijakan tersebut masih bersifat administratif atau struktural sehingga belum menghasilkan efek yang terukur terhadap pengurangan emisi. Oleh karena itu, hipotesis H4 tidak dapat diterima.

Kinerja Manajemen dan Keputusan Investasi sebagai Variabel Mediasi

Dalam konteks PT Astra International Tbk, kinerja manajemen dan keputusan investasi menempati peran strategis sebagai faktor antara yang berpotensi memperkuat maupun melemahkan hubungan antara penggunaan energi dan tingkat emisi karbon. Meskipun penelitian ini tidak secara eksplisit memasukkan variabel mediasi ke dalam model analisis PLS-SEM, kajian konseptual menunjukkan bahwa kedua aspek tersebut tetap memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keberhasilan penerapan efisiensi energi dan kebijakan green manufacturing.

Kinerja manajemen berpengaruh terhadap arah kebijakan, konsistensi pelaksanaan program, serta tingkat komitmen perusahaan dalam mengendalikan konsumsi BBM dan emisi karbon. Manajemen yang memiliki orientasi keberlanjutan cenderung lebih proaktif dalam menerapkan standar operasional pengelolaan energi, melakukan pemantauan konsumsi energi secara berkelanjutan, melaksanakan audit energi, serta memastikan kedisiplinan dalam penggunaan bahan bakar. Dengan demikian, peran manajemen menjadi krusial dalam memastikan bahwa program efisiensi energi dan inisiatif green manufacturing tidak berhenti pada tataran administratif, melainkan terimplementasi secara nyata dalam aktivitas operasional. Semakin efektif kinerja manajemen, semakin besar pula potensi pengaruh kebijakan efisiensi energi dan lingkungan terhadap penurunan emisi karbon.

Selain itu, keputusan investasi berfungsi sebagai penghubung utama dalam proses adopsi teknologi produksi yang rendah emisi. Alokasi investasi pada mesin hemat energi, pemanfaatan sumber energi terbarukan, sistem otomasi produksi, penggantian peralatan pembakaran, maupun pemasangan panel surya secara langsung meningkatkan kemampuan perusahaan dalam menekan penggunaan energi fosil. Ketika keputusan investasi diarahkan pada modernisasi fasilitas produksi, dampak efisiensi energi terhadap pengurangan emisi karbon menjadi lebih signifikan. Sebaliknya, keterlambatan atau keterbatasan investasi teknologi berpotensi menghambat efektivitas upaya efisiensi energi yang dilakukan.

Dengan demikian, meskipun belum diuji secara empiris dalam penelitian ini, secara teoritis kinerja manajemen dan keputusan investasi memiliki potensi kuat sebagai variabel mediasi yang memperkuat hubungan antara efisiensi energi, kebijakan green manufacturing, dan penurunan emisi karbon, sekaligus mengurangi ketergantungan perusahaan terhadap penggunaan BBM.

Implikasi Penelitian

Hasil penelitian ini memberikan tambahan kontribusi terhadap pengembangan pemahaman teoritis mengenai keterkaitan antara penggunaan energi dan emisi karbon pada industri otomotif, khususnya pada perusahaan manufaktur berskala besar seperti PT Astra International Tbk. Temuan yang menunjukkan bahwa volume konsumsi bahan bakar minyak berpengaruh signifikan terhadap tingkat emisi karbon mendukung kerangka Energy Consumption Model, yang menyatakan bahwa peningkatan penggunaan energi berbasis fosil akan secara langsung meningkatkan emisi karbon yang dihasilkan. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bukti empiris bahwa pengendalian jumlah energi yang dikonsumsi merupakan elemen kunci dalam perumusan strategi penurunan emisi karbon di sektor industri.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh jenis bahan bakar minyak, volume penggunaan bahan bakar minyak, efisiensi energi, serta kebijakan green manufacturing terhadap tingkat emisi karbon pada PT Astra International Tbk. Berdasarkan hasil analisis menggunakan pendekatan PLS-SEM, diperoleh temuan bahwa volume konsumsi bahan bakar minyak memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon. Hasil ini menegaskan bahwa tingkat penggunaan energi berbasis fosil menjadi faktor dominan dalam menentukan besarnya emisi karbon yang dihasilkan perusahaan. Sebaliknya, variabel jenis bahan bakar minyak, efisiensi energi, dan kebijakan green manufacturing tidak menunjukkan pengaruh

yang signifikan secara statistik, meskipun secara konseptual memiliki keterkaitan dengan pengendalian emisi karbon.

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa strategi pengurangan emisi karbon pada perusahaan manufaktur berskala besar perlu diarahkan pada pengendalian konsumsi energi secara kuantitatif. Tidak signifikannya pengaruh efisiensi energi dan kebijakan green manufacturing mengindikasikan bahwa implementasi kedua aspek tersebut belum memberikan dampak nyata terhadap penurunan emisi karbon. Oleh karena itu, perusahaan disarankan untuk meningkatkan efektivitas penerapan kebijakan keberlanjutan melalui dukungan investasi teknologi ramah lingkungan, pembaruan peralatan produksi, serta penguatan sistem manajemen energi agar manfaatnya dapat terukur secara optimal.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan, terutama pada penggunaan data sekunder dan ruang lingkup penelitian yang terbatas pada satu entitas perusahaan. Selain itu, penelitian ini belum menguji peran variabel mediasi secara empiris dalam model analisis. Oleh sebab itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan lebih banyak objek penelitian dari berbagai sektor industri serta memasukkan variabel mediasi, seperti kinerja manajemen dan keputusan investasi, guna memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai upaya pengendalian emisi karbon di sektor industri.

DAFTAR REFERENSI

- Constantia, M. (2022). Determinants of CO₂ emission intensity: Manufacturing firm-level evidence in Indonesia. *Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning*, 6(3), 402–419. https://thesis.eur.nl/pub/61257/Melisa_Constantia_MA_2020_21_ECD_DD_UI.pdf
- Efi Lismiyah, Marselina, Marselina, Taher, A. R., Toto Gunarto, & Niel Aida. (2024). The Causality Between Energy Consumption and Carbon Emission in Indonesia. *Jurnal Riset Ilmu Ekonomi*, 4(1), 27–38. <https://doi.org/10.23969/jrie.v4i1.83>
- Hao Zeng, Chenyi Yu, & Guanglai Zhar. (2024). How does green manufacturing enhance corporate ESG performance? — Empirical evidence from machine learning and text analysis. 370. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122933>
- Honghui Miac, Qingshuang Quan, & Ming Yang. (2025). Study on the Regional Carbon Emissions Reduction Effect of Green Manufacturing—A Policy Experiment Based on the Construction of Green Parks in China. 17(4). <https://doi.org/10.3390/su17041527>
- Kirana, D. H., Irsyad Kamal, Rafiah, K. K., & Revinzky, M. A. (n.d.). Evaluasi Kinerja Green Manufacturing Pada Toyota Indonesia: Dampak Terhadap Pengurangan Emisi Karbon Dan Efisiensi Operasional. 2(1). <https://jicnusantara.com/index.php/jiic/article/view/2415>
- Melisa Constantia. (2022). Determinants of CO₂ Emission Intensity: Manufacturing Firm-Level Evidence in Indonesia. *Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning*, 6(3), 402-419. DOI: <https://doi.org/10.36574/jpp.v6i3.296>

- Porter, M. E. (n.d.). Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97-118. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.9.4.97>
- PT Astra International Tbk. (n.d.). *Astra International Tbk*. Astra International Tbk. (2023). Sustainability Report 2023. <https://www.astra.co.id/>
- Wang Q. (2013, Published: 26 April 2012). Energy efficiency and CO2 emissions in Swedish manufacturing industries. *Energy*, 6, 117-133. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-012-9159-5>