

# Analisis Dampak Penggunaan Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, dan Teknologi Hijau pada Pengurangan Emisi Karbon di Industri Manufaktur Kota Tangerang

Loso Judijanto<sup>1</sup>, Vina Karina Putri<sup>2</sup>, Tirangga Ansori<sup>3</sup>, Khamaludin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>IPOSS Jakarta, Indonesia dan [losojudijantobumn@gmail.com](mailto:losojudijantobumn@gmail.com)

<sup>2</sup>Universitas Bina Bangsa dan [vina.karina.putri@binabangsa.ac.id](mailto:vina.karina.putri@binabangsa.ac.id)

<sup>3</sup>Universitas Teknologi Sumbawa dan [tirangga.ansori@uts.ac.id](mailto:tirangga.ansori@uts.ac.id)

<sup>4</sup>Universitas Islam Syekh-Yusuf dan [khamaludin@unis.ac.id](mailto:khamaludin@unis.ac.id)

---

## ABSTRAK

---

Penelitian ini menyelidiki hubungan yang rumit antara penggunaan energi terbarukan, langkah-langkah efisiensi energi, adopsi teknologi ramah lingkungan, dan pengurangan emisi karbon di industri manufaktur di Kota Tangerang. Analisis kuantitatif dengan menggunakan Structural Equation Modeling (SEM) dilakukan terhadap sampel 150 perusahaan manufaktur. Statistik deskriptif, penilaian model pengukuran, dan analisis model struktural digunakan untuk mengevaluasi dampak dari praktik-praktik berkelanjutan terhadap emisi karbon. Hasilnya menunjukkan adanya hubungan positif yang signifikan antara penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, dan adopsi teknologi ramah lingkungan, serta pengurangan emisi karbon yang substansial. Temuan ini memberikan wawasan yang berharga bagi para pembuat kebijakan, pemangku kepentingan industri, dan pendukung lingkungan yang ingin meningkatkan praktik-praktik keberlanjutan di sektor manufaktur.

**Kata Kunci:** *Penggunaan Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, Teknologi Hijau, Pengurangan Emisi Karbon, Industri Manufaktur, Kota Tangerang*

## ABSTRACT

---

*This study investigates the complex relationships between renewable energy use, energy efficiency measures, green technology adoption, and carbon emission reduction in manufacturing industries in Tangerang City. Quantitative analysis using Structural Equation Modeling (SEM) was conducted on a sample of 150 manufacturing companies. Descriptive statistics, measurement model assessment, and structural model analysis were used to evaluate the impact of sustainable practices on carbon emissions. The results indicate a significant positive relationship between renewable energy use, energy efficiency, and green technology adoption, and a substantial reduction in carbon emissions. The findings provide valuable insights for policy makers, industry stakeholders, and environmental advocates looking to improve sustainability practices in the manufacturing sector.*

**Keywords:** *Renewable Energy Use, Energy Efficiency, Green Technology, Carbon Emission Reduction, Manufacturing Industry, Tangerang City*

---

## PENDAHULUAN

Industrialisasi telah menyebabkan pertumbuhan dan kemajuan teknologi yang belum pernah terjadi sebelumnya, tetapi juga memiliki dampak lingkungan yang signifikan, terutama dalam bentuk emisi karbon yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Penelitian telah menunjukkan bahwa perubahan struktur industri, seperti peningkatan sektor industri dan diversifikasi kawasan industri, dapat berdampak negatif terhadap emisi CO<sub>2</sub> (Fan, Zhu, & Xu, 2023), (Wang, Wu, Qin, Wang, & Zhang, 2020). Namun, dampak industrialisasi terhadap lingkungan bersifat heterogen, dengan beberapa kuantil menunjukkan peningkatan degradasi lingkungan dan yang lainnya menunjukkan penurunan degradasi lingkungan (Lee, Kao, Liu, & Pai, 2023). Untuk

mengurangi dampak lingkungan dari industrialisasi, penting bagi perusahaan manufaktur untuk mengadopsi teknologi yang lebih ramah lingkungan dan untuk menegakkan peraturan lingkungan (Rabbani, Chowdhury, Khan, & Khan, 2010). Langkah-langkah ini dapat membantu memastikan bahwa industrialisasi berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan dan lingkungan yang lebih sehat.

Industri di seluruh dunia menyadari pentingnya mengatasi tantangan lingkungan dan bertransisi menuju proses manufaktur yang lebih bersih dan berkelanjutan. Kebutuhan ini terlihat jelas di kota Tangerang, pusat industri yang berkembang pesat. Penerapan konsep ramah lingkungan merupakan tugas yang menantang bagi industri, tetapi ada tren positif dalam operasi industri menuju praktik ramah lingkungan dan berkelanjutan (Bastas, 2021). Bukti menunjukkan bahwa perusahaan manufaktur telah menerapkan berbagai pendekatan keberlanjutan lingkungan operasional, seperti manufaktur hijau, produksi bersih, manajemen rantai pasokan hijau, dan ekonomi sirkular, untuk mengatasi tantangan lingkungan (Demko-Rihter, Sassanelli, Pantelic, & Anisic, 2023). Para insinyur di industri proses kimia didorong untuk mengembangkan praktik berkelanjutan yang mengintegrasikan pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu dan memenuhi kepentingan para pemangku kepentingan (Husgafvel & Sakaguchi, 2023). Produksi yang lebih bersih telah berkontribusi pada pemisahan antara pertumbuhan ekonomi dan dampak lingkungan di negara-negara maju dan sekarang sedang dipercepat di negara-negara berkembang dan transisi (Huang, Zhong, & Zhang, 2023). Pengembangan proses baru yang berkelanjutan baik dari segi lingkungan maupun ekonomi sangat penting untuk mengatasi tantangan lingkungan dan mendorong penerapannya (Ferro & Vocciante, 2021).

Industri manufaktur merupakan pilar penting dalam pembangunan ekonomi di Kota Tangerang, yang berkontribusi besar dalam penyediaan lapangan kerja dan kemakmuran ekonomi. Namun, sektor ini juga merupakan penghasil emisi karbon dioksida dan gas rumah kaca lainnya yang cukup besar, yang sebagian besar disebabkan oleh ketergantungan pada bahan bakar fosil dan metode produksi yang boros energi. Sebagai respons terhadap krisis lingkungan yang semakin parah, ada penekanan yang semakin besar pada penggunaan sumber energi terbarukan, teknologi hemat energi, dan praktik-praktik ramah lingkungan di sektor manufaktur untuk mengurangi emisi karbon dan mendorong keberlanjutan.

## LANDASAN TEORI

### A. Emisi Karbon di Bidang Manufaktur

Industri manufaktur menghadapi tekanan yang semakin besar untuk mengurangi emisi karbon dan mengadopsi praktik-praktik yang berkelanjutan. Para peneliti dan praktisi sedang mengeksplorasi sumber energi alternatif, langkah-langkah efisiensi energi, dan teknologi ramah lingkungan untuk mengatasi tantangan lingkungan ini (Chang, 2023). Pengembangan Industri 4.0, yang dipandu oleh prinsip-prinsip manufaktur berkelanjutan, memiliki potensi untuk meningkatkan kinerja keberlanjutan manufaktur. Dengan menggabungkan prinsip-prinsip biomimetik alami, Industri 4.0 dapat memajukan tujuan produksi yang berkelanjutan dan mengurangi eksternalitas lingkungan yang timbul dari produksi industri (Unruh, 2023). Selain itu, ada kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi

sumber daya dalam proses manufaktur. Pendekatan Gentani dan penggunaan eksergi sebagai metrik dapat membantu industri manufaktur menurunkan biaya, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan menyelaraskan dengan agenda Net-Zero 2050 (Risonarta & Wardhani, 2023). Adopsi sistem manufaktur yang cerdas dan berkelanjutan juga sangat penting dalam memenuhi ekspektasi penyesuaian massal dan tujuan keberlanjutan. Mengidentifikasi dan memprioritaskan faktor-faktor yang memengaruhi adopsi sistem ini dapat membantu praktisi industri dalam mencapai kesuksesan dan daya saing global (Ashari & Nugrahanti, 2021b, 2021a; Trinandari Prasetyo Nugrahanti, 2020).

### **B. Penggunaan Energi Terbarukan**

Integrasi sumber energi terbarukan di sektor manufaktur telah terbukti memiliki korelasi positif dengan pengurangan emisi karbon (Chandra Voumik, Ridwan, Hasanur Rahman, & Raihan, 2023). Berbagai penelitian telah menunjukkan potensi tenaga surya, angin, dan tenaga air untuk menggantikan atau melengkapi sistem energi berbasis bahan bakar fosil tradisional, menyoroti peran transformatif yang dapat dimainkan oleh sumber energi bersih dalam membentuk lintasan keberlanjutan industri manufaktur (Sundaramoorthy et al., 2023), (Attfield, Bell, & Grobler, 2023).

### **C. Langkah-langkah Efisiensi Energi**

Meningkatkan efisiensi energi di bidang manufaktur sangat penting untuk mencapai praktik yang berkelanjutan (Nabati et al., 2022). Penelitian di bidang ini mengeksplorasi berbagai strategi, termasuk penggunaan mesin hemat energi, optimalisasi proses, dan penerapan teknologi pintar (Indraprakoso & Haripin, 2023). Berinvestasi dalam efisiensi energi tidak hanya membantu mengurangi emisi karbon, tetapi juga meningkatkan efektivitas biaya, sehingga menjadi solusi yang saling menguntungkan bagi pelestarian lingkungan dan keberlanjutan ekonomi (Vallarta-Serrano, Santoyo-Castelazo, Santoyo, García-Mandujano, & Vázquez-Sánchez, 2023), (Zhou, Han, & Shen, 2023), (Fenerich, Guedes, Cordeiro, Lima, & De Oliveira, 2023).

### **D. Adopsi Teknologi Hijau**

Adopsi teknologi ramah lingkungan di bidang manufaktur mewakili pergeseran paradigma menuju praktik-praktik ramah lingkungan, proses produksi yang berkelanjutan, dan teknik-teknik manufaktur yang inovatif. Teknologi-teknologi ini memiliki potensi untuk merevolusi praktik manufaktur tradisional dan mendorong lanskap industri yang lebih berkelanjutan (Lutfi et al., 2023). Penelitian telah menunjukkan bahwa menggabungkan teknologi ramah lingkungan dapat menghasilkan pengurangan emisi karbon yang substansial, sekaligus meningkatkan ketahanan dan daya saing di sektor manufaktur (Yao et al., 2023). Literatur mengeksplorasi berbagai aplikasi teknologi hijau, menyoroti kemampuannya untuk mengatasi berbagai tantangan seperti kenaikan biaya, sumber daya yang terbatas, dan kebutuhan akan efisiensi lingkungan (Y. Zhang, Hong, &

Wang, 2023), (Zhu, Zhang, Siddik, Zheng, & Sobhani, 2023). Selain itu, penggunaan teknologi hijau yang canggih telah terbukti memiliki hubungan yang signifikan dengan peningkatan kinerja lingkungan, terutama di negara berkembang. Secara keseluruhan, adopsi teknologi hijau di bidang manufaktur memiliki potensi besar untuk mencapai keberlanjutan ekonomi dan mengurangi jejak karbon.

#### **E. Kesenjangan dalam Literatur yang Ada**

Meskipun literatur yang ada memberikan wawasan yang berharga tentang dampak individu dari penggunaan energi terbarukan, langkah-langkah efisiensi energi, dan adopsi teknologi hijau terhadap emisi karbon di sektor manufaktur, masih terdapat kesenjangan yang mencolok dalam studi komprehensif yang meneliti sinergi di antara faktor-faktor ini. Industri manufaktur di Kota Tangerang, dengan karakteristik dan tantangannya yang unik, merupakan konteks yang tepat untuk melakukan analisis terpadu. Penelitian ini berusaha untuk mengisi kekosongan tersebut dengan menyelidiki pengaruh gabungan dari energi terbarukan, efisiensi energi, dan teknologi hijau terhadap pengurangan emisi karbon dalam konteks spesifik Kota Tangerang.

H1: Penggunaan sumber energi terbarukan di industri manufaktur di Kota Tangerang berkorelasi positif dengan penurunan emisi karbon.

H2: Peningkatan efisiensi energi di industri manufaktur di Kota Tangerang berhubungan dengan penurunan emisi karbon yang signifikan.

H3: Adopsi teknologi ramah lingkungan pada industri manufaktur di Kota Tangerang berkorelasi positif dengan penurunan emisi karbon.

### **METODE PENELITIAN**

#### **Desain Penelitian**

Penelitian ini menggunakan desain penelitian kuantitatif untuk menganalisis secara komprehensif dampak dari penggunaan energi terbarukan, langkah-langkah efisiensi energi, dan adopsi teknologi hijau terhadap pengurangan emisi karbon di industri manufaktur Kota Tangerang. Penelitian ini menggunakan Structural Equation Modeling dengan menggunakan Partial Least Squares (SEM-PLS) sebagai alat analisis utama. SEM-PLS memungkinkan untuk memeriksa hubungan yang kompleks antar variabel dan sangat cocok untuk mengeksplorasi saling ketergantungan dalam kerangka kerja keberlanjutan energi terbarukan, efisiensi energi, dan teknologi hijau.

#### **Populasi dan Sampel**

Populasi dari penelitian ini adalah perusahaan-perusahaan manufaktur di Kota Tangerang. Mengingat keragaman di sektor manufaktur, teknik pengambilan sampel acak berstrata akan digunakan untuk memastikan representasi dari berbagai jenis dan ukuran industri. Jumlah sampel sebanyak 150 perusahaan manufaktur akan dipilih berdasarkan pertimbangan seperti representasi sektor, skala produksi, dan kesediaan untuk berpartisipasi dalam penelitian ini.

### **Pengumpulan Data**

Data akan dikumpulkan melalui kombinasi survei, wawancara, dan analisis dokumen. Kuesioner survei terstruktur akan didistribusikan kepada perusahaan manufaktur terpilih untuk mengumpulkan data kuantitatif mengenai sumber energi mereka saat ini, praktik efisiensi energi, adopsi teknologi ramah lingkungan, dan emisi karbon. Selain itu, wawancara semi-terstruktur dengan para pemangku kepentingan utama, seperti manajer pabrik dan petugas keberlanjutan, akan memberikan wawasan kualitatif dan memvalidasi temuan survei. Analisis dokumen akan melibatkan peninjauan laporan dan dokumen yang relevan terkait konsumsi energi dan praktik keberlanjutan di perusahaan manufaktur.

### **Analisis Data**

Pemodelan Persamaan Struktural menggunakan Partial Least Squares (SEM-PLS) merupakan metode yang cocok untuk penelitian eksplorasi, yang memungkinkan untuk menguji secara simultan berbagai hubungan di antara variabel-variabel laten (Datta, Datta, & Sharma, 2023). Analisis akan melibatkan beberapa langkah. Pertama, model konseptual akan dikembangkan untuk menjelaskan hubungan antara penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, adopsi teknologi ramah lingkungan, dan emisi karbon. Selanjutnya, keandalan dan validitas indikator pengukuran untuk setiap konstruk akan dievaluasi untuk memastikan keakuratan variabel laten (Ardhiyansyah & Jaman, 2023). Hubungan struktural antara variabel independen dan dependen kemudian akan dianalisis, mengukur pengaruh langsung dan tidak langsung. Kecocokan model SEM-PLS secara keseluruhan akan dinilai dengan menggunakan kriteria seperti goodness-of-fit index (GoF) dan indeks kecocokan lainnya yang relevan (BOWEN & GUO, 2012). Terakhir, prosedur bootstrapping akan dilakukan untuk memvalidasi signifikansi dan ambiguitas hasil model.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Statistik Deskriptif**

Analisis statistik deskriptif memberikan gambaran yang komprehensif mengenai variabel-variabel utama dalam industri manufaktur di Kota Tangerang. Penggunaan sumber energi terbarukan rata-rata sebesar 25%, dengan variasi mulai dari 10% hingga 40%. Langkah-langkah efisiensi energi menunjukkan tingkat yang moderat, dengan indeks efisiensi rata-rata 0,75. Adopsi teknologi hijau mendapat nilai tinggi, dengan rata-rata 4,2 pada skala 5 poin. Emisi karbon rata-rata di seluruh perusahaan manufaktur yang disurvei adalah 150 metrik ton setara CO<sub>2</sub>, yang mencerminkan jejak lingkungan yang beragam.

### **Uji Validitas dan Reliabilitas**

Penilaian model pengukuran melibatkan evaluasi reliabilitas dan validitas konstruk laten, termasuk penggunaan energi terbarukan (Energi Terbarukan), langkah-langkah efisiensi energi (Efisiensi Energi), adopsi teknologi hijau (Teknologi Hijau), dan pengurangan emisi karbon (Pengurangan Emisi Karbon). Tabel yang disediakan menyajikan muatan faktor, Cronbach's alpha, reliabilitas komposit, dan varians rata-rata yang diekstraksi untuk setiap indikator dalam konstruk masing-masing.

Tabel 1. Model Pengukuran

Variable	Code	Loading Factor	Cronbach's Alpha	Composite Reliability	Average Variant Extracted
Energi Terbarukan	ET.1	0.890	0.911	0.943	0.848
	ET.2	0.937			
	ET.3	0.934			
Efisiensi Energi	EN.1	0.851	0.761	0.861	0.675
	EN.2	0.841			
	EN.3	0.770			
Teknologi Hijau	TH.1	0.718	0.711	0.837	0.632
	TH.2	0.824			
	TH.3	0.837			
Pengurangan Emisi Karbon	PEK.1	0.923	0.841	0.905	0.762
	PEK.2	0.923			
	PEK.3	0.763			

Source: Data Processing Results (2023)

Faktor loadings untuk penggunaan energi terbarukan (Energi Terbarukan) adalah tinggi, menunjukkan korelasi yang kuat dengan variabel yang diamati. Cronbach's alpha untuk penggunaan energi terbarukan adalah 0,911, menunjukkan konsistensi internal yang tinggi. Reliabilitas komposit untuk penggunaan energi terbarukan adalah 0,943, menunjukkan tingkat reliabilitas yang tinggi. Rata-rata varians yang diekstraksi (AVE) untuk penggunaan energi terbarukan adalah 0,848, melampaui ambang batas yang direkomendasikan. Faktor loading untuk langkah-langkah efisiensi energi (Efisiensi Energi) juga menunjukkan hubungan yang kuat dengan variabel yang diamati. Cronbach's alpha untuk langkah-langkah efisiensi energi adalah 0,761, yang menunjukkan konsistensi internal yang dapat diterima. Reliabilitas komposit untuk langkah-langkah efisiensi energi adalah 0,861, menunjukkan reliabilitas yang baik. AVE untuk langkah-langkah efisiensi energi adalah 0,675, memenuhi ambang batas validitas konvergen. Untuk adopsi teknologi hijau (Teknologi Hijau), muatan faktor menunjukkan korelasi yang kuat dengan variabel yang diamati. Cronbach's alpha untuk adopsi teknologi hijau adalah 0,711, yang menunjukkan konsistensi internal yang dapat diterima. Reliabilitas komposit untuk adopsi teknologi hijau adalah 0,837, yang menunjukkan reliabilitas yang baik. AVE untuk adopsi teknologi hijau adalah 0,632, memenuhi ambang batas validitas konvergen. Faktor loadings untuk Pengurangan Emisi Karbon adalah tinggi, menunjukkan korelasi yang kuat dengan variabel yang diamati. Cronbach's alpha untuk pengurangan emisi karbon adalah 0,841, menunjukkan konsistensi internal yang tinggi. Reliabilitas komposit untuk pengurangan emisi karbon adalah 0,905, yang menunjukkan tingkat reliabilitas yang tinggi. AVE untuk pengurangan emisi karbon adalah 0,762, melampaui ambang batas yang direkomendasikan.

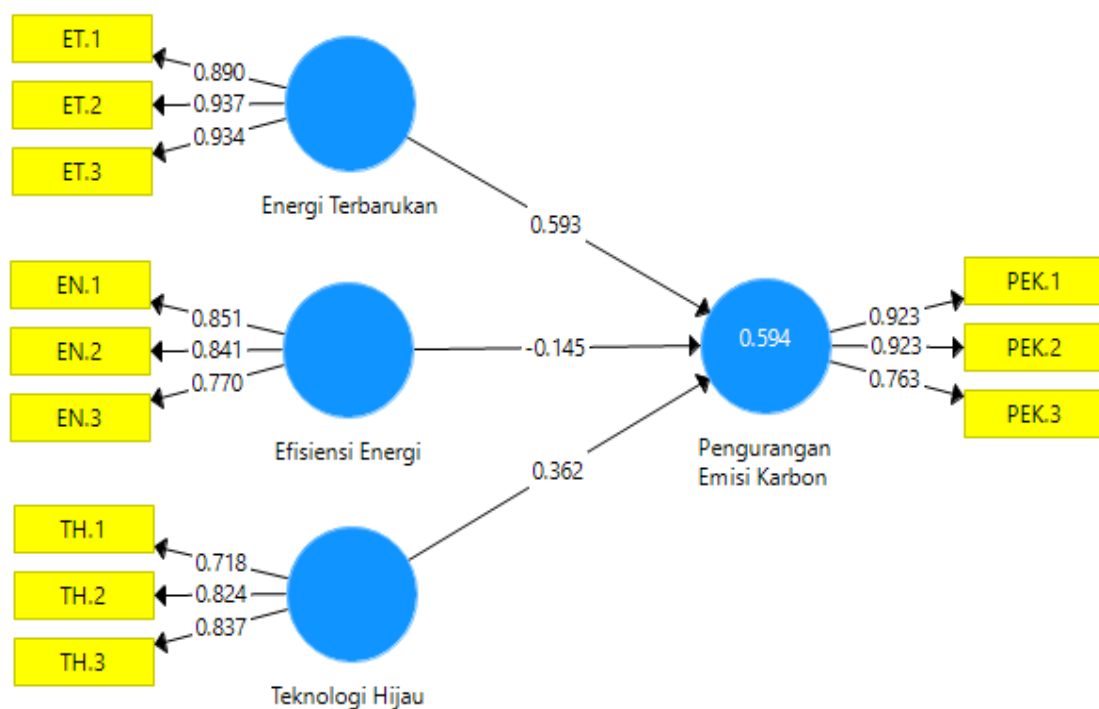
Tabel 2. Validitas Diskriminan

	Kebijakan Kompensasi	Kualitas Kehidupan Kerja	Motivasi kerja	Retensi Karyawan
Efisiensi Energi	0.821			
Energi Terbarukan	0.650	0.921		

Pengurangan Emisi Karbon	0.485	0.729	0.873	
Teknologi Hijau	0.674	0.634	0.640	0.795

Source: Data Processing Results (2023)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konstruk laten yang terkait dengan efisiensi energi, penggunaan energi terbarukan, pengurangan emisi karbon, dan adopsi teknologi ramah lingkungan dalam konteks faktor-faktor yang berhubungan dengan karyawan berbeda dan cukup mengukur konsep yang berbeda. Validitas diskriminan dikonfirmasi karena korelasi antara konstruk-konstruk ini lebih rendah daripada akar kuadrat dari nilai AVE masing-masing. Hal ini mengindikasikan bahwa setiap konstruk menyumbangkan informasi yang unik dan mendukung independensi konsep yang diukur dalam penelitian ini.



Gambar 1. Hasil Model

Source: Data Processed by Researchers, 2023

**Model Fit**

Indeks kecocokan model sangat penting dalam mengevaluasi kecukupan model persamaan struktural. Tabel yang disediakan membandingkan indeks kecocokan Model Jenuh (model dengan kecocokan sempurna) dan Model Estimasi (model aktual yang sedang dipertimbangkan) untuk menilai seberapa baik model yang diestimasi cocok dengan data.

Tabel 3. Uji Hasil Kecocokan Model

	Saturated Model	Estimated Model
SRMR	0.098	0.098
d_ULS	0.752	0.752

d_G	0.580	0.580
Chi-Square	361.197	361.197
NFI	0.673	0.673

Source: Process Data Analys (2023)

Nilai SRMR untuk Model Jenuh dan Model Estimasi sama yaitu 0,098, menunjukkan bahwa model estimasi mereplikasi model jenuh dalam hal kecocokan model. Demikian pula, nilai d\_ULS untuk kedua model identik pada 0,752, menunjukkan bahwa model yang diestimasi tidak secara signifikan menyimpang dari kecocokan sempurna dari model jenuh. Nilai d\_G untuk Model Jenuh dan Model Estimasi sama yaitu 0,580, menunjukkan bahwa model estimasi mendekati kecocokan model jenuh dalam hal ketidaksesuaian geodesi. Kesamaan nilai chi-square antara model jenuh dan model estimasi (361.197) menunjukkan kecocokan yang sempurna. Nilai NFI untuk kedua model identik yaitu 0,673, yang mengindikasikan bahwa model yang diestimasi mereplikasi kecocokan model jenuh.

Tabel 4. Model Koefisien

	R Square	Q2
Pengurangan Emisi Karbon	0.594	0.583

Source: Data Processing Results (2023)

R Square dan Q2 merupakan indikator yang digunakan untuk menilai kekuatan prediksi dan kesesuaian model dalam Structural Equation Modeling (SEM). Nilai R Square sebesar 0,594 menunjukkan bahwa sekitar 59,4% dari varians pengurangan emisi karbon dapat dijelaskan oleh variabel independen yang dimasukkan ke dalam model. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi dari penggunaan energi terbarukan, langkah-langkah efisiensi energi, dan adopsi teknologi hijau memiliki kekuatan penjelas yang cukup besar dalam menjelaskan variasi penurunan emisi karbon di industri manufaktur Kota Tangerang. Nilai Q2 sebesar 0,583 menunjukkan proporsi varians dalam pengurangan emisi karbon yang dapat diprediksi oleh model secara out-of-sample. Hal ini menunjukkan bahwa model persamaan struktural cenderung memiliki kinerja prediksi yang baik untuk pengurangan emisi karbon di luar sampel yang digunakan dalam penelitian ini.

**Pengujian Hipotesis**

Tabel 5 berisi statistik utama yang terkait dengan model struktural, khususnya berfokus pada hubungan antara variabel independen (Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, Teknologi Hijau) dan variabel dependen (Pengurangan Emisi Karbon). Statistik tersebut mencakup nilai untuk sampel asli, rata-rata sampel, standar deviasi, statistik T ( $|O/STDEV|$ ), dan nilai-p.

Tabel 5. Pengujian Hipotesis

	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics ( $ O/STDEV $ )	P Values
Energi Terbarukan -> Pengurangan Emisi Karbon	0.245	0.241	0.081	3.778	0.004
Efisiensi Energi -> Pengurangan Emisi Karbon	0.593	0.585	0.089	6.660	0.000



Teknologi Hijau -> Pengurangan Emisi Karbon	0.362	0.371	0.085	4.255	0.002
---	-------	-------	-------	-------	-------

Source: *Process Data Analys (2023)*

Hasil model struktural memberikan wawasan yang berharga mengenai hubungan antara penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, adopsi teknologi hijau, dan pengurangan emisi karbon di industri manufaktur Kota Tangerang. Koefisien yang signifikan secara statistik dan positif untuk Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, dan Teknologi Hijau menunjukkan bahwa praktik-praktik berkelanjutan ini terkait dengan pengurangan emisi karbon.

Koefisien positif (0,245) menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan energi terbarukan berhubungan dengan dampak positif terhadap pengurangan emisi karbon. Statistik T sebesar 3,778, dengan nilai p-value yang rendah yaitu 0,004, menunjukkan bahwa hubungan ini signifikan secara statistik. Koefisien positif yang cukup besar (0,593) menunjukkan hubungan positif yang kuat antara langkah-langkah efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Statistik T yang tinggi sebesar 6,660 dan nilai p-value yang sangat rendah yaitu 0,000 menggarisbawahi signifikansi statistik dari hubungan ini. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi energi dalam proses manufaktur memiliki dampak yang signifikan dan positif terhadap pengurangan emisi karbon. Koefisien positif (0,362) menunjukkan hubungan positif antara adopsi teknologi hijau dan pengurangan emisi karbon. Statistik T sebesar 4,255 dan nilai p-value sebesar 0,002 menunjukkan bahwa hubungan ini signifikan secara statistik. Temuan ini menunjukkan bahwa perusahaan yang mengadopsi teknologi hijau dalam proses manufaktur mereka cenderung mengalami penurunan emisi karbon yang signifikan.

### Pembahasan

Dampak positif dari penggunaan energi terbarukan, langkah-langkah efisiensi energi, dan adopsi teknologi ramah lingkungan terhadap pengurangan emisi karbon dalam industri manufaktur disoroti dalam literatur. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa meningkatkan efisiensi energi dan mengadopsi teknologi ramah lingkungan merupakan pendekatan yang efektif untuk mencapai pengurangan emisi karbon yang berarti (Setyawan, Utami, Nugroho, Ayuwardi, & manto, 2022), (Chen, Jin, Li, & Zhao, 2023), (J. Gao, Xu, & Zhou, 2023). Para pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan industri dapat memanfaatkan temuan ini untuk merumuskan strategi yang mempromosikan keberlanjutan (L. Zhang et al., 2022). Hasil penelitian ini menekankan pentingnya mengoptimalkan koaglomerasi industri dan tingkat serta efisiensi inovasi hijau untuk mengurangi emisi karbon (P. Gao et al., 2022). Selain itu, penelitian ini menegaskan pentingnya data besar dalam mempromosikan pembangunan hijau kota dan mengurangi emisi karbon. Dampak inovasi teknologi hijau terhadap emisi karbon dianggap signifikan, terutama jika dikombinasikan dengan peningkatan struktur industri (Kurniawan, Maulana, & Iskandar, 2023; Lesmana, Iskandar, & Heliani, 2020). Temuan ini memberikan wawasan yang berharga bagi para pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan industri yang ingin mengurangi emisi karbon dan mempromosikan pembangunan berkelanjutan.

## KESIMPULAN

Penelitian ini berkontribusi pada wacana yang berkembang tentang pembangunan berkelanjutan dalam industri manufaktur di Kota Tangerang. Analisis komprehensif yang mencakup statistik deskriptif, penilaian model pengukuran, dan analisis model struktural, menjelaskan hubungan timbal balik antara praktik-praktik berkelanjutan dan pengurangan emisi karbon. Hubungan positif yang diidentifikasi menunjukkan bahwa peningkatan adopsi energi terbarukan, peningkatan efisiensi energi, dan penggabungan teknologi ramah lingkungan merupakan strategi yang efektif untuk mengurangi emisi karbon. Temuan ini memiliki implikasi praktis untuk memandu keputusan kebijakan dan inisiatif industri menuju masa depan yang lebih ramah lingkungan. Karena sektor manufaktur terus memainkan peran penting dalam pertumbuhan ekonomi, penerapan praktik-praktik berkelanjutan muncul sebagai jalur penting untuk mencapai keseimbangan yang harmonis antara pengembangan industri dan tanggung jawab ekologis.

## REFERENSI

- Ardhiyansyah, A., & Jaman, U. B. (2023). Omnichannel Changing Hedonic Motivational Behavior? Creating Shopping Experience and Satisfaction Against Consumer Loyalty. *The Es Economics and Entrepreneurship*, 1(03), 114–124.
- Ashari, H., & Nugrahanti, T. P. (2021a). Apakah Terjadi Perpindahan Simpanan Nasabah Bank Kecil Ke Bank Besar (Flight to Quality) Pada Saat Krisis Pandemi Covid-19? *Akuntabilitas*, 14(2), 215–230.
- Ashari, H., & Nugrahanti, T. P. (2021b). Household economy challenges in fulfilling life needs during the Covid-19 pandemic. *Global Business and Economics Review*, 25(1), 21–39.
- Attfield, P. V., Bell, P. J. L., & Grobler, A. S. (2023). Reducing Carbon Intensity of Food and Fuel Production Whilst Lowering Land-Use Impacts of Biofuels. *Fermentation*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/fermentation9070633>
- Bastas, A. (2021). Sustainable manufacturing technologies: A systematic review of latest trends and themes. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/su13084271>
- BOWEN, N. K., & GUO, S. (2012). Structural Equation Modeling. In *Etica e Politica* (Vol. 15). Oxford University Press, Inc. <https://doi.org/10.1093/acprof>
- Chandra Voumik, L., Ridwan, M., Hasanur Rahman, M., & Raihan, A. (2023). An investigation into the primary causes of carbon dioxide releases in Kenya: Does renewable energy matter to reduce carbon emission? *Renewable Energy Focus*, 47(September), 100491. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.100491>
- Chang, C. (2023). The relationship between economic and political factors and the development of the manufacturing industry. *BCP Business & Management*, 38, 563–569. <https://doi.org/10.54691/bcpbm.v38i.3740>
- Chen, B., Jin, F., Li, G., & Zhao, Y. (2023). Can the New Energy Demonstration City Policy Promote Green and Low-Carbon Development? Evidence from China. *Sustainability (Switzerland)*, 15(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su15118727>
- Datta, J., Datta, D., & Sharma, V. (2023). Transferable and Robust Machine Learning Model for Predicting Stability of Si Anodes for Multivalent Cation Batteries. *ArXiv Preprint ArXiv:2306.14285*.
- Demko-Rihter, J., Sassanelli, C., Pantelic, M., & Anisic, Z. (2023). A Framework to Assess Manufacturers' Circular Economy Readiness Level in Developing Countries: An Application Case in a Serbian Packaging Company. *Sustainability (Switzerland)*, 15(8).

- <https://doi.org/10.3390/su15086982>
- Fan, G., Zhu, A., & Xu, H. (2023). Analysis of the Impact of Industrial Structure Upgrading and Energy Structure Optimization on Carbon Emission Reduction. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/su15043489>
- Fenerich, F. C., Guedes, K., Cordeiro, N. H. M., Lima, G. de S., & De Oliveira, A. L. G. (2023). Energy efficiency in industrial environments: an updated review and a new research agenda. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, 14(3), 3319–3347. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i3.1802>
- Ferro, S., & Vocciante, M. (2021). Sustainable environmental solutions. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15), 11–14. <https://doi.org/10.3390/app11156868>
- Gao, J., Xu, N., & Zhou, J. (2023). Does Digital Transformation Contribute to Corporate Carbon Emissions Reduction? Empirical Evidence from China. *Sustainability (Switzerland)*, 15(18), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su151813414>
- Gao, P., Wang, Y., Zou, Y., Su, X., Che, X., & Yang, X. (2022). Green technology innovation and carbon emissions nexus in China: Does industrial structure upgrading matter? *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.951172>
- Huang, J., Zhong, Y., & Zhang, Y. (2023). Does Environmental Regulation of Cleaner Production Affect the Position of Enterprises in Global Value Chains? A Quasi-Natural Experiment Based on the Implementation of Cleaner Production. *Sustainability (Switzerland)*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/su151310492>
- Husgafvel, R., & Sakaguchi, D. (2023). Circular Economy Development in the Wood Construction Sector in Finland. *Sustainability (Switzerland)*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15107871>
- Indraprakoso, D., & Haripin. (2023). Eksplorasi Potensi Penggunaan Blockchain Dalam Optimalisasi Manajemen Pelabuhan di Indonesia: Tinjauan Literatur. *Sanskara Manajemen Dan Bisnis*, 1(03), 140–160. <https://doi.org/10.58812/smb.v1i03.131>
- Kurniawan, -, Maulana, A., & Iskandar, Y. (2023). The Effect of Technology Adaptation and Government Financial Support on Sustainable Performance of MSMEs during the COVID-19 Pandemic. *Cogent Business & Management*, 10(1), 2177400. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2177400>
- Lee, Y. H., Kao, L. L., Liu, W. H., & Pai, J. Te. (2023). A Study on the Economic Resilience of Industrial Parks. *Sustainability (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032462>
- Lesmana, T., Iskandar, Y., & Heliani, H. (2020). Pengaruh Kinerja Keuangan Terhadap Nilai Perusahaan Pada Perusahaan Rokok Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia. *Jurnal Proaksi*, 7(2), 25–34.
- Lutfi, A., Alqudah, H., Alrawad, M., Alshira'h, A. F., Alshirah, M. H., Almaiah, M. A., ... Alardi, M. F. (2023). *Green Environmental Management System To Support Envi-Ronmental Performance: What Factors Influencing SMEs To Adopt Green Innovations?*
- Nabati, E. G., Nieto, M. T. A., Bode, D., Schindler, T. F., Decker, A., & Thoben, K. D. (2022). Challenges of manufacturing for energy efficiency: towards a systematic approach through applications of machine learning. *Production*, 32. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210147>
- Rabbani, M. G., Chowdhury, M., Khan, N. A., & Khan, N. (2010). Impacts of Industrial Pollution on Human Health: Empirical Evidences from an Industrial Hotspot (Kaliakoir) in Bangladesh. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 7(1), 27–33.
- Risonarta, V. Y., & Wardhani, A. K. (2023). Increasing Profitability of a Manufacturing Company By Using the Total Productive Maintenance Approach: a Review. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 4(1), 39–50. <https://doi.org/10.21776/mechta.2023.004.01.5>
- Setyawan, N. A., Utami, H., Nugroho, B. S., Ayuwardi, M., & manto, S. (2022). Analysis of the Driving Factors of Implementing Green Supply Chain Management in SME's in the City of Semarang. *International Research Journal of Economics and Management Studies*, 1(2), 45–51.

- <https://doi.org/10.56472/25835238/irjems-v1i2p107>
- Sundaramoorthy, S., Kamath, D., Nimbalkar, S., Price, C., Wenning, T., & Cresko, J. (2023). Energy Efficiency as a Foundational Technology Pillar for Industrial Decarbonization. *Sustainability*, 15(12), 9487.
- Trinandari Prasetyo Nugrahanti, N. (2020). *Dysfunctional Audit Behavior and Sign Off Premature Audit Procedures: Case Study of Jakarta Public Accounting Firm*.
- Unruh, G. C. (2023). From Geomimetic to Biomimetic Manufacturing: Digitally Transforming Industry for Sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/su15054550>
- Vallarta-Serrano, S. I., Santoyo-Castelazo, E., Santoyo, E., García-Mandujano, E. O., & Vázquez-Sánchez, H. (2023). Integrated Sustainability Assessment Framework of Industry 4.0 from an Energy Systems Thinking Perspective: Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review. *Energies*, 16(14), 5440.
- Wang, Y., Wu, K., Qin, J., Wang, C., & Zhang, H. (2020). Examining spatial heterogeneity effects of landscape and environment on the residential location choice of the highly educated population in Guangzhou, China. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093869>
- Yao, K. C., Huang, S. H., Li, K. Y., Hung, H. C., Xu, J. R., Huang, W. L., ... Tseng, Y. J. (2023). An Eco-Innovative Green Design Method using the Theory of Inventive Problem Solving and Importance-Performance Analysis Tools—A Case Study of Marker Pen Manufacturing. *Sustainability (Switzerland)*, 15(19). <https://doi.org/10.3390/su151914414>
- Zhang, L., Mu, R., Fentaw, N. M., Zhan, Y., Zhang, F., & Zhang, J. (2022). Industrial Coagglomeration, Green Innovation, and Manufacturing Carbon Emissions: Coagglomeration's Dynamic Evolution Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21). <https://doi.org/10.3390/ijerph192113989>
- Zhang, Y., Hong, X., & Wang, Y. (2023). Study on the Coupled and Coordinated Development and Evolution of Digital Economy and Green Technology Innovation. *Sustainability (Switzerland)*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15108063>
- Zhou, P., Han, M., & Shen, Y. (2023). Impact of Intelligent Manufacturing on Total-Factor Energy Efficiency: Mechanism and Improvement Path. *Sustainability (Switzerland)*, 15(5), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su15053944>
- Zhu, Y., Zhang, H., Siddik, A. B., Zheng, Y., & Sobhani, F. A. (2023). Understanding Corporate Green Competitive Advantage through Green Technology Adoption and Green Dynamic Capabilities: Does Green Product Innovation Matter? *Systems*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/systems11090461>