

Dari Inovasi ke Efisiensi: Peran Inovasi Hijau dan Kesiapan Organisasi dalam Penerapan Biomassa Sekam Padi dan Dampaknya terhadap Kinerja Keberlanjutan Perusahaan

Johan Adiluhung^{1*}, Alfina², Wahyu Kamal Setiawan³

¹⁻³ Universitas Internasional Semen Indonesia

Email: johan.adiluhung24@student.uisi.ac.id^{1*}, alfina@uisi.ac.id², wahyu.setiawan@uisi.ac.id³

*Penulis Korespondensi: johan.adiluhung24@student.uisi.ac.id

Abstract. *The cement industry is an energy-intensive sector facing high energy costs, increasing pressure to reduce carbon emissions, and accelerating green transformation, making the adoption of biomass-based alternative fuels a critical strategy for improving efficiency and sustainability performance. This study aims to analyze the effects of organizational readiness and green innovation strategy on the adoption of rice husk alternative fuel and its impact on energy costs and sustainability performance at KILN2 of PT XYZ. A quantitative explanatory research design was employed, involving 55 respondents selected through total sampling. Data were collected using Likert-scale questionnaires and analyzed using Partial Least Squares–Structural Equation Modeling (PLS-SEM). The results indicate that organizational readiness has a positive and significant effect on alternative fuel adoption. The adoption of alternative fuel significantly reduces energy costs and enhances corporate sustainability performance. Furthermore, organizational readiness exerts a significant indirect effect on energy costs and sustainability performance through alternative fuel adoption. These findings highlight that organizational readiness is a key determinant of successful energy transition in the cement industry.*

Keywords: *Cement Industry; Energy Cost; Green Innovation; Organizational Readiness; Sustainability Performance.*

Abstrak. Industri semen merupakan sektor padat energi yang menghadapi tekanan tingginya biaya energi, tuntutan penurunan emisi karbon, dan transformasi hijau, sehingga penerapan bahan bakar alternatif berbasis biomassa menjadi strategi penting untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja keberlanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kesiapan organisasi dan strategi inovasi hijau terhadap penerapan bahan bakar alternatif sekam padi serta dampaknya terhadap biaya energi dan kinerja keberlanjutan pada KILN2 PT XYZ. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain explanatory research terhadap 55 responden melalui teknik total sampling. Data dikumpulkan menggunakan kuesioner berskala Likert dan dianalisis dengan Partial Least Squares–Structural Equation Modeling. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesiapan organisasi berpengaruh positif dan signifikan terhadap penerapan bahan bakar alternatif. Penerapan bahan bakar alternatif terbukti menurunkan biaya energi dan meningkatkan kinerja keberlanjutan perusahaan. Kesiapan organisasi juga memiliki pengaruh tidak langsung yang signifikan terhadap biaya energi dan kinerja keberlanjutan melalui penerapan bahan bakar alternatif di industri semen nasional Indonesia.

Kata kunci: Biaya Energi; Industri Semen; Inovasi Hijau; Kesiapan Organisasi; Kinerja Keberlanjutan.

1. LATAR BELAKANG

Industri semen merupakan sektor strategis dalam pembangunan infrastruktur dan berkontribusi signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi nasional. Namun, sebagai *energy-intensive industry*, struktur biaya produksinya sangat dipengaruhi oleh konsumsi energi, di mana biaya energi mencapai sekitar 30–40% dari total biaya produksi secara global (Kondanli & Uzun, 2025) dan cenderung lebih tinggi di Indonesia akibat dominasi batu bara sebagai bahan bakar utama (Setiawan & Horman, 2022). Kondisi ini menjadikan efisiensi energi sebagai prioritas strategis, terutama di tengah volatilitas harga energi global (Manurung et al., 2024).

Tingginya konsumsi energi berimplikasi langsung terhadap emisi karbon, dengan industri semen menyumbang sekitar 7% dari total emisi CO₂ global (Hanifa et al., 2023). Emisi tersebut terutama berasal dari pembakaran batu bara dalam proses klinkerisasi (Idroes et al., 2024), sehingga efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon menjadi isu ekonomi dan lingkungan yang saling terkait (Barbhuiya et al., 2024; Miller et al., 2021). Oleh karena itu, perusahaan semen dituntut untuk mengintegrasikan aspek ekonomi dan lingkungan ke dalam strategi bisnis guna menjaga daya saing dan keberlanjutan (Wang et al., 2021).

Transformasi energi di industri semen semakin kompleks karena perusahaan harus merespons tekanan biaya energi, tuntutan penurunan emisi, dan dorongan transformasi hijau secara simultan. Adopsi bahan bakar alternatif berbasis biomassa menjadi salah satu strategi utama, namun keberhasilannya tidak hanya ditentukan oleh aspek teknis, melainkan juga oleh kesiapan organisasi dan strategi inovasi hijau yang mendukung perubahan tersebut (Trzaska et al., 2021; Yang et al., 2024).

Dalam konteks PT XYZ, implementasi sekam padi sebagai bahan bakar alternatif pada unit KILN2 yang dimulai pada tahun 2025 menimbulkan tantangan tersendiri. Keberhasilan penerapan bahan bakar terbarukan pada KILN1 dan KILN3 tidak dapat dijadikan acuan langsung bagi KILN2 karena perbedaan karakteristik proses, kapasitas, dan sistem umpan pembakaran (Beguedou et al., 2023). Selain itu, tingkat kesiapan organisasi yang tidak seragam antarunit memperkuat adanya *research gap*, di mana keberhasilan teknis pada unit lain tidak secara otomatis menjamin keberhasilan manajerial dan operasional pada unit baru (Machado et al., 2020).

Ketidaksiapan organisasi berpotensi menghambat pencapaian efisiensi energi dan kinerja keberlanjutan, serta meningkatkan risiko operasional dan reputasi perusahaan (Hu et al., 2020; Wang, 2022). Sebaliknya, kesiapan organisasi menjadi prasyarat penting agar implementasi bahan bakar alternatif mampu memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan secara optimal (Zhang et al., 2020).

Tekanan regulatif dan institusional terkait agenda transisi energi, pengurangan emisi karbon, dan penerapan prinsip ESG semakin memperkuat urgensi adopsi inovasi hijau di industri semen (Garrone et al., 2018). Dalam perspektif teori institusional, tekanan regulatif, normatif, dan koersif mendorong perusahaan untuk mengadopsi inovasi hijau dan meningkatkan kinerja keberlanjutan (Ning et al., 2021). Oleh karena itu, pemanfaatan sekam padi sebagai bahan bakar alternatif tidak hanya merupakan strategi efisiensi energi, tetapi juga respons terhadap tekanan institusional yang semakin kuat.

Berdasarkan konteks tersebut, penelitian ini bertujuan menguji secara empiris hubungan antara kesiapan organisasi dan strategi inovasi hijau terhadap implementasi bahan bakar alternatif sekam padi serta dampaknya terhadap biaya energi dan kinerja keberlanjutan perusahaan. Studi ini berkontribusi secara teoretis melalui integrasi faktor ekonomi, manajerial, dan lingkungan dalam konteks industri padat energi, serta secara praktis memberikan dasar pengambilan keputusan strategis bagi PT XYZ dan mendukung kebijakan transisi energi nasional.

2. KAJIAN TEORITIS

Kajian teoritis ini bertujuan untuk memberikan landasan konseptual mengenai peran inovasi hijau dan kesiapan organisasi dalam penerapan biomassa sekam padi, serta implikasinya terhadap efisiensi operasional dan kinerja keberlanjutan perusahaan.

Kinerja Keberlanjutan Perusahaan

Kinerja keberlanjutan perusahaan adalah kemampuan perusahaan dalam menjalankan kegiatan usahanya dengan memperhatikan keseimbangan antara pencapaian ekonomi, kepedulian terhadap lingkungan, dan tanggung jawab sosial. Konsep ini berangkat dari pendekatan *triple bottom line* yang menekankan bahwa keberhasilan perusahaan tidak hanya diukur dari keuntungan finansial, tetapi juga dari upaya menjaga lingkungan dan memberikan manfaat bagi masyarakat. Dalam konteks ini, penerapan energi terbarukan menjadi salah satu indikator penting kinerja keberlanjutan karena berperan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas perusahaan (Wang, 2022).

Inovasi Hijau

Inovasi hijau merupakan penerapan produk, proses, atau praktik manajerial yang bertujuan mengurangi dampak negatif aktivitas perusahaan terhadap lingkungan. Dalam perspektif strategis, inovasi hijau berfungsi sebagai kapabilitas organisasi yang mendorong efisiensi operasional sekaligus meningkatkan daya saing. Pemanfaatan biomassa sekam padi sebagai sumber energi alternatif mencerminkan inovasi hijau berbasis proses yang mendukung transisi menuju produksi berkelanjutan (Garrone et al., 2018).

Kesiapan Organisasi

Kesiapan organisasi adalah kondisi internal perusahaan yang mencerminkan kemampuan dan kesediaannya untuk mengadopsi serta mengimplementasikan perubahan strategis, termasuk inovasi yang berorientasi pada lingkungan. Kesiapan ini mencakup dukungan manajemen, kompetensi sumber daya manusia, serta ketersediaan infrastruktur dan kebijakan

pendukung yang memungkinkan inovasi hijau diterapkan secara efektif dan berkelanjutan (Machado et al., 2020).

Biomassa Sekam Padi

Biomassa sekam padi merupakan limbah pertanian yang berpotensi besar sebagai sumber energi terbarukan. Pemanfaatannya tidak hanya mengurangi limbah dan emisi karbon, tetapi juga meningkatkan efisiensi energi perusahaan. Dalam kerangka ekonomi sirkular, penggunaan sekam padi sebagai biomassa menjadi strategi yang mendukung keberlanjutan lingkungan dan ekonomi (Setiawan & Horman, 2022).

Inovasi Hijau, Kesiapan Organisasi, dan Kinerja Keberlanjutan

Hubungan antara inovasi hijau, kesiapan organisasi, dan kinerja keberlanjutan perusahaan bersifat saling melengkapi dan kausal. Inovasi hijau menyediakan pendekatan teknologis dan manajerial untuk mengurangi dampak lingkungan, sementara kesiapan organisasi memastikan bahwa inovasi tersebut dapat diimplementasikan secara efektif dan konsisten. Integrasi keduanya menjadi prasyarat bagi peningkatan kinerja keberlanjutan Perusahaan (Ning et al., 2021).

Penerapan biomassa sekam padi merepresentasikan jalur transformasi dari inovasi menuju efisiensi. Perusahaan yang memiliki tingkat inovasi hijau dan kesiapan organisasi yang tinggi cenderung mampu mengonversi inisiatif lingkungan menjadi kinerja keberlanjutan yang unggul, baik dari dimensi ekonomi, lingkungan, maupun sosial. Dengan demikian, inovasi hijau dan kesiapan organisasi dapat dipandang sebagai determinan utama keberhasilan strategi keberlanjutan perusahaan.

Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Yali Zhang, Jun Sun, Zhiyong Yang, dan Yannan Wang (2020) mengkaji faktor-faktor kunci keberhasilan inovasi hijau dengan menggunakan kerangka *technology organization environment* (TOE) untuk menilai kesiapan perusahaan dalam mengimplementasikan inovasi ramah lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesiapan teknologi, kesiapan organisasi, dan kesiapan lingkungan eksternal merupakan kondisi yang diperlukan dan cukup bagi keberhasilan inovasi hijau, yang selanjutnya berdampak pada peningkatan kinerja lingkungan dan kinerja perusahaan. Temuan ini menegaskan bahwa inovasi hijau tidak hanya ditentukan oleh adopsi teknologi, tetapi juga oleh kesiapan internal organisasi dan dukungan lingkungan eksternal. Sejalan dengan itu, penelitian oleh Shengnan Ning dkk. (2021) menekankan peran tekanan institusional, baik regulatif, normatif, maupun mimetik, sebagai pendorong utama inovasi hijau perusahaan manufaktur. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa tekanan eksternal mendorong perusahaan untuk mengadopsi

inovasi hijau guna mempertahankan legitimasi dan keunggulan kompetitif, serta bahwa efisiensi pemanfaatan sumber daya inovasi hijau dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan eksternal, seperti intensitas polusi dan tingkat marketisasi.

Penelitian oleh Chenggang Wang (2022) menunjukkan bahwa *green technology innovation* berpengaruh positif terhadap kinerja keberlanjutan perusahaan, dengan struktur konsumsi energi sebagai variabel mediasi yang memperkuat hubungan tersebut. Namun, kajian ini masih berfokus pada struktur energi secara umum dan belum secara spesifik mengkaji pemanfaatan energi terbarukan berbasis limbah pertanian. Selain itu, integrasi antara inovasi hijau dan kesiapan organisasi dalam penerapan biomassa tertentu, seperti sekam padi, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini memperluas kajian terdahulu dengan menganalisis peran inovasi hijau dan kesiapan organisasi dalam penerapan biomassa sekam padi serta dampaknya terhadap kinerja keberlanjutan perusahaan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain *explanatory research* yang bertujuan menjelaskan hubungan kausal antara strategi inovasi hijau dan kesiapan organisasi terhadap penerapan bahan bakar alternatif sekam padi, serta dampaknya terhadap biaya energi dan kinerja keberlanjutan perusahaan. Pendekatan kuantitatif dipilih karena memungkinkan pengujian hipotesis secara objektif dan terukur berbasis data numerik (Lim, 2024; Mohajan, 2020; Slater, 2024). Analisis data dilakukan menggunakan metode *Structural Equation Modeling* (SEM) berbasis *Partial Least Squares* (PLS) dengan bantuan perangkat lunak SmartPLS 3.0, yang dinilai sesuai untuk model penelitian kompleks dan ukuran sampel relatif kecil (Hair & Alamer, 2022; Sukhov et al., 2023).

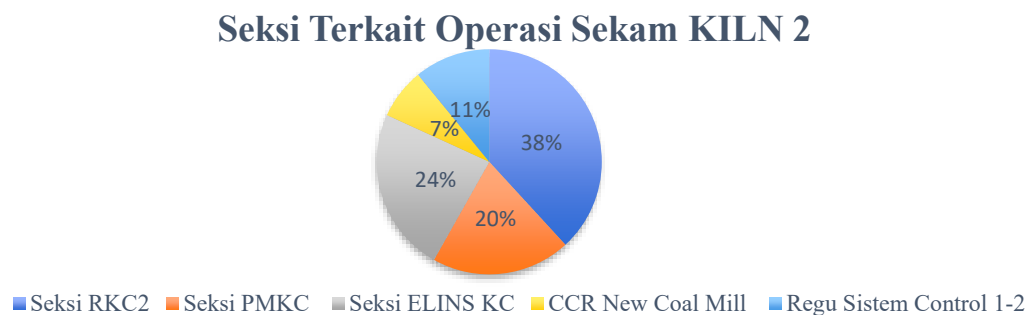
Populasi penelitian mencakup seluruh karyawan yang terlibat dalam kegiatan operasional, perencanaan, dan pengawasan pada Unit Operasi KILN2 PT XYZ, dengan jumlah total 55 orang berdasarkan data internal perusahaan tahun 2025 (Mushofa et al., 2024; Willie, 2024). Mengingat jumlah populasi kurang dari 100 orang, penelitian ini menerapkan teknik *total sampling*, sehingga seluruh anggota populasi dijadikan responden dan jumlah sampel sama dengan populasi, yaitu 55 responden (Al Haddad et al., 2023; Almutairi et al., 2024). Teknik ini dipilih untuk meminimalkan bias sampling dan meningkatkan representativitas data penelitian. Pengumpulan data dilakukan pada periode November–Desember 2025 melalui penyebaran kuesioner secara luring dan daring guna meningkatkan tingkat respons dan kelengkapan data (Daruhadi & Sopiati, 2024).

Variabel penelitian meliputi strategi inovasi hijau dan kesiapan organisasi sebagai variabel eksogen, penerapan bahan bakar alternatif sekam padi sebagai variabel mediasi, serta biaya energi dan kinerja keberlanjutan perusahaan sebagai variabel endogen. Seluruh variabel didefinisikan secara operasional ke dalam indikator terukur agar dapat dianalisis secara kuantitatif (Cooksey, 2020; Mahé & McLauchlin, 2021). Instrumen penelitian berupa kuesioner terstruktur dengan skala Likert lima poin, yang digunakan untuk mengonversi persepsi responden menjadi data numerik (Koo & Yang, 2025; Kusmaryono & Wijayanti, 2022). Kualitas instrumen diuji melalui uji validitas menggunakan korelasi Pearson Product Moment dan uji reliabilitas menggunakan Cronbach's Alpha dengan nilai $\geq 0,70$ (Rosita et al., 2021; Said et al., 2023; Yuniahans et al., 2022). Analisis data mencakup evaluasi model pengukuran dan model struktural, serta pengujian hipotesis melalui prosedur *bootstrapping* dengan kriteria t-statistic $\geq 1,96$ pada tingkat signifikansi 5% (Duryadi & Tangerang, 2024; Hair & Alamer, 2022; Haji-Othman et al., 2024; Koniyo et al., 2023; Yusoff et al., 2020).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Karakteristik Responden



Gambar 1. Seksi Terkait Operasional Sekam di KILN2.

Responden penelitian berasal dari beberapa seksi kerja yang terlibat langsung dalam operasional KILN 2 PT XYZ, meliputi RKC2, PMKC, ELINS KC, CCR New Coal Mill, dan Regu Sistem Control. Komposisi terbesar berasal dari Seksi RKC2, yang menunjukkan kedekatan fungsional responden dengan aktivitas perencanaan, implementasi, dan pengawasan operasional KILN 2. Secara keseluruhan, distribusi responden mencerminkan keterwakilan lintas fungsi yang relevan sehingga data yang diperoleh dianggap representatif terhadap kondisi operasional aktual.

Ditinjau dari masa kerja, mayoritas responden memiliki pengalaman kerja di atas 15 tahun, yang menunjukkan dominasi tenaga kerja berpengalaman dan berkontribusi terhadap kedalaman serta kredibilitas persepsi yang dihimpun.



Gambar 2. Masa Kerja Responden.

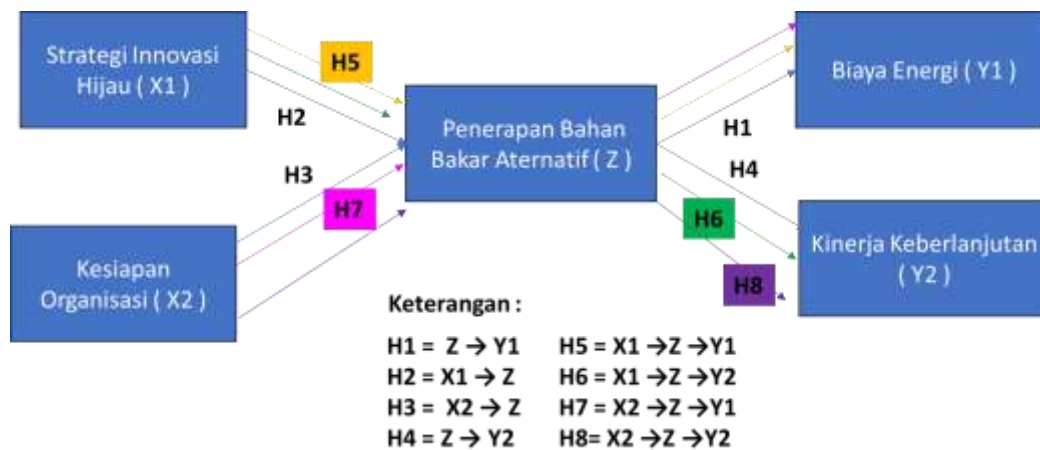
Dari sisi tingkat pendidikan, sebagian besar responden merupakan lulusan SMA/SLTA, diikuti oleh Sarjana (S1) dan Diploma (D3), mencerminkan kombinasi antara kompetensi teknis lapangan dan pemahaman akademik dalam proses operasional.



Gambar 3. Tingkat Pendidikan Responden.

Deskripsi Variabel Penelitian

Penelitian ini melibatkan lima konstruk utama, yaitu Strategi Inovasi Hijau dan Kesiapan Organisasi sebagai variabel eksogen, Penerapan Bahan Bakar Alternatif (Sekam Padi) sebagai variabel mediasi, serta Biaya Energi dan Kinerja Keberlanjutan Perusahaan sebagai variabel endogen. Seluruh variabel diukur menggunakan kuesioner berskala Likert 1–5 dengan indikator yang disusun berdasarkan definisi operasional yang jelas dan relevan dengan konteks industri semen (Barella et al., 2024).



Gambar 4. Kerangka Penelitian.

Tabel 1. Hipotesis Penelitian.

Model Konseptual	Hipotesis
$Z \rightarrow Y1$	Penerapan bahan bakar alternatif (sekam padi) berpengaruh secara signifikan terhadap biaya energi pada KILN2 PT XYZ.
$X1 \rightarrow Z$	Strategi inovasi hijau berpengaruh secara signifikan terhadap penerapan bahan bakar alternatif (sekam padi) pada KILN2 PT XYZ
$X2 \rightarrow Z$	Kesiapan organisasi (<i>organizational readiness</i>) berpengaruh secara signifikan terhadap penerapan bahan bakar alternatif (sekam padi) pada KILN2 PT XYZ
$Z \rightarrow Y2$	Penerapan bahan bakar alternatif (sekam padi) berpengaruh secara signifikan terhadap kinerja keberlanjutan perusahaan.
$X1 \rightarrow Z \rightarrow Y1$	Penerapan bahan bakar alternatif memediasi pengaruh strategi inovasi hijau terhadap biaya energi perusahaan.
$X1 \rightarrow Z \rightarrow Y2$	Penerapan bahan bakar alternatif memediasi pengaruh strategi inovasi hijau terhadap keberlanjutan perusahaan
$X2 \rightarrow Z \rightarrow Y1$	Penerapan bahan bakar alternatif memediasi pengaruh kesiapan organisasi terhadap biaya energi perusahaan
$X2 \rightarrow Z \rightarrow Y2$	Penerapan bahan bakar alternatif memediasi kesiapan organisasi terhadap keberlanjutan perusahaan

Evaluasi Measurement Model

Tabel 2. Hasil Uji Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT) SmartPLS.

	Biaya Energi	Kesiapan Organisasi	Kinerja Keberlanjutan	Penerapan Bahan Bakar Alternatif	Strategy Inovasi Hijau
Biaya Energi					
Kesiapan Organisasi	0.816				
Kinerja Keberlanjutan	0.785	0.863			
Penerapan Bahan Bakar Alternatif	0.862	0.734	0.810		
Strategy Inovasi Hijau	0.710	0.873	0.846	0.638	

Hasil evaluasi validitas diskriminan melalui pendekatan Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT) menunjukkan adanya pelanggaran awal antara konstruk Penerapan Bahan Bakar Alternatif dan Biaya Energi. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan eliminasi satu indikator yang memiliki korelasi tertinggi, sehingga nilai HTMT seluruh konstruk berada di bawah ambang batas yang direkomendasikan ($<0,90$), dan validitas diskriminan dinyatakan terpenuhi (Panahi et al., 2023; Yusoff et al., 2020).

Tabel 3. Indikasi Outer Loading Penelitian.

No	Biaya Energi	Kesiapan Organisasi	Kinerja Keberlanjutan	Penerapan Bahan Bakar Alternatif	Strategy Inovasi Hijau
P1					0.695
P10				0.695	
P11				0.802	
P12				0.855	
P14				0.844	
P15	0.820				
P16	0.891				
P17	0.924				
P18	0.862				
P19	0.836				
P2					0.828
P20			0.811		
P21			0.666		
P22			0.716		
P23			0.933		
P24			0.818		
P3					0.816
P4					0.812
P5		0.670			
P6		0.698			
P7		0.707			
P8		0.812			
P9		0.686			

Tabel 4. Indikasi Average Variance Extracted (AVE) dan Cronbach's Alpha.

	Cronbach's Alpha	rho_A	Composite Reliability	Average Variance Extracted (AVE)
Biaya Energi	0.917	0.924	0.938	0.752
Kesiapan Organisasi	0.767	0.774	0.840	0.513
Kinerja Keberlanjutan	0.850	0.875	0.894	0.631
Penerapan Bahan Bakar Alternatif	0.814	0.833	0.877	0.642
Strategy Inovasi Hijau	0.799	0.820	0.868	0.623

Uji validitas konvergen menunjukkan bahwa sebagian besar indikator memiliki nilai outer loading di atas 0,70, meskipun nilai antara 0,60–0,70 masih dapat dipertimbangkan jika reliabilitas konstruk secara keseluruhan (CR dan AVE) sudah baik (Afthanorhan et al., 2020). Menurut Nursalam et al. (2020) Indikator dengan nilai outer loading antara **0,4–0,7** masih dapat dipertimbangkan valid. Seluruh konstruk memiliki nilai Average Variance Extracted (AVE) di atas 0,50. Hal ini menandakan bahwa indikator mampu merepresentasikan konstruk laten secara memadai (Hair & Alamer, 2022). Uji reliabilitas konstruk melalui Cronbach's Alpha dan Composite Reliability (CR) juga menunjukkan nilai di atas 0,70 untuk seluruh variabel, sehingga konsistensi internal instrumen dinyatakan baik hingga sangat baik.

Evaluasi Structural Model

Tabel 5. Hasil Uji Multikolineritas VIF.

	Biaya Energi	Kesiapan Organisasi	Kinerja Keberlanjutan	Penerapan Bahan Bakar Alternatif	Strategy Inovasi Hijau
Biaya Energi					
Kesiapan Organisasi				1.806	
Kinerja Keberlanjutan					
Penerapan Bahan Bakar Alternatif	1.000		1.000		
Strategy Inovasi Hijau				1.806	

Tabel 6. Hasil Uji R Square.

	R Square	R Square Adjusted
Biaya Energi	0.592	0.584
Kinerja Keberlanjutan	0.489	0.479
Penerapan Bahan Bakar Alternatif	0.411	0.388

Pengujian multikolinearitas menunjukkan seluruh nilai Variance Inflation Factor (VIF) berada di bawah batas aman (<5), sehingga tidak terdapat masalah multikolinearitas antar konstruk. Nilai koefisien determinasi (R^2) menunjukkan nilai R^2 menunjukkan bahwa konstruk Biaya Energi memiliki daya jelaskan sebesar 59,2% ($R^2 = 0,592$) dan termasuk kategori moderat. Konstruk Kinerja Keberlanjutan memiliki nilai R^2 sebesar 0,489, yang menunjukkan kemampuan penjelasan mendekati moderat. Sementara itu, konstruk Penerapan Bahan Bakar Alternatif memiliki nilai R^2 sebesar 0,411, yang berada pada kategori lemah hingga moderat, namun tetap menunjukkan kontribusi prediktor yang cukup berarti. Hasil menunjukkan bahwa variasi Biaya Energi, Kinerja Keberlanjutan, dan Penerapan Bahan Bakar Alternatif dapat dijelaskan oleh konstruk prediktornya pada tingkat moderat (Koniyo et al., 2023).

Tabel 7. Hasil Uji Q Square.

	SSO	SSE	$Q^2 (=1-SSE/SSO)$
Biaya Energi	275.000	156.647	0.430
Kesiapan Organisasi	275.000	275.000	
Kinerja Keberlanjutan	275.000	198.897	0.277
Penerapan Bahan Bakar Alternatif	220.000	170.694	0.224
Strategy Inovasi Hijau	220.000	220.000	

Tabel 8. Hasil Uji F Square.

	Biaya Energi	Kesiapan Organisasi	Kinerja Keberlanjutan	Penerapan Bahan Bakar Alternatif	Strategy Inovasi Hijau
Biaya Energi					
Kesiapan Organisasi				0.226	
Kinerja Keberlanjutan					
Penerapan Bahan Bakar Alternatif	1.451		0.956		
Strategy Inovasi Hijau				0.037	

Hasil predictive relevance (Q^2) menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan prediktif yang baik untuk konstruk endogen utama, khususnya Biaya Energi dan Kinerja Keberlanjutan. Berdasarkan uji *effect size* (f^2), Kesiapan Organisasi menunjukkan pengaruh sedang ($f^2 = 0,226$) terhadap konstruk endogen. Penerapan Bahan Bakar Alternatif memiliki pengaruh sangat besar ($f^2 = 1,451$ dan $0,956$), yang menunjukkan peran dominan dalam model struktural. Sebaliknya, Strategi Inovasi Hijau menunjukkan pengaruh kecil ($f^2 = 0,037$), menandakan kontribusi yang relatif lemah. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan variasi kekuatan pengaruh antar konstruk dalam model. Hasil effect size (f^2) mengindikasikan bahwa Penerapan Bahan Bakar Alternatif memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap Biaya Energi

dan Kinerja Keberlanjutan, sementara Kesiapan Organisasi memberikan pengaruh sedang, dan Strategi Inovasi Hijau menunjukkan pengaruh kecil (Haji-Othman et al., 2024).

Hasil Uji Hipotesis

Tabel 9. Hasil *Bootripping Path Coefficients*.

	Hipotesis	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics (O/STDEV)	P Values
Penerapan Bahan Bakar Alternatif → Biaya Energi	H1	0.769	0.777	0.059	13.051	0.000
Strategy Inovasi Hijau → Penerapan Bahan Bakar Alternatif	H2	0.199	0.213	0.156	1.276	0.203
Kesiapan Organisasi → Penerapan Bahan Bakar Alternatif	H3	0.491	0.511	0.122	4.015	0.000
Penerapan Bahan Bakar Alternatif → Kinerja Keberlanjutan	H4	0.699	0.709	0.068	10.220	0.000

Hasil *bootstrapping path coefficients* menunjukkan bahwa:

- 1) Penerapan Bahan Bakar Alternatif berpengaruh signifikan terhadap penurunan Biaya Energi, sehingga hipotesis H1 diterima
- 2) Strategi Inovasi Hijau tidak berpengaruh signifikan terhadap Penerapan Bahan Bakar Alternatif, sehingga hipotesis H2 tidak terpenuhi.
- 3) Kesiapan Organisasi berpengaruh positif dan signifikan terhadap Penerapan Bahan Bakar Alternatif, sehingga hipotesis H3 diterima.
- 4) Penerapan Bahan Bakar Alternatif berpengaruh signifikan terhadap peningkatan Kinerja Keberlanjutan, sehingga hipotesis H4 diterima.

Tabel 10. Hasil *Bootstrapping Specific Indirect Effects*.

	Hipotesis	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics (O/STDEV)	P Values
Strategy Inovasi Hijau → Penerapan Bahan Bakar Alternatif → Biaya Energi	H5	0.153	0.167	0.124	1.234	0.218
Strategy Inovasi Hijau → Penerapan Bahan Bakar Alternatif → Kinerja Keberlanjutan	H6	0.139	0.154	0.117	1.193	0.233
Kesiapan Organisasi → Penerapan Bahan Bakar Alternatif → Biaya Energi	H7	0.378	0.397	0.098	3.864	0.000
Kesiapan Organisasi → Penerapan Bahan Bakar Alternatif → Kinerja Keberlanjutan	H8	0.343	0.362	0.093	3.696	0.000

Hasil *bootstrapping Specific Indirect Effects* menunjukkan bahwa:

- 1) Strategi Inovasi Hijau tidak dimediasi secara signifikan oleh Penerapan Bahan Bakar Alternatif terhadap kedua variabel endogen tersebut (H5 dan H6 tidak terpenuhi).
- 2) Penerapan Bahan Bakar Alternatif memediasi secara signifikan pengaruh Kesiapan Organisasi terhadap Biaya Energi dan Kinerja Keberlanjutan (H7 dan H8 diterima).

Pembahasan

Temuan penelitian menegaskan bahwa kesiapan organisasi merupakan faktor kunci dalam keberhasilan transformasi energi, khususnya dalam penerapan bahan bakar alternatif di industri semen. Organisasi yang memiliki kesiapan struktural, sumber daya, dan dukungan manajemen yang memadai lebih mampu mengadopsi bahan bakar alternatif secara efektif, yang pada akhirnya berdampak pada efisiensi biaya energi dan peningkatan kinerja keberlanjutan (Hu et al., 2020; Zhang et al., 2020).

Sebaliknya, strategi inovasi hijau belum menunjukkan pengaruh signifikan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Hal ini mengindikasikan bahwa strategi tersebut kemungkinan belum terintegrasi secara operasional atau masih berada pada tahap awal implementasi, sehingga belum mampu mendorong adopsi bahan bakar alternatif secara nyata. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa efektivitas inovasi hijau sangat dipengaruhi oleh kesiapan organisasi, dukungan kebijakan, dan kesiapan infrastruktur (Wang, 2022).

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa penerapan bahan bakar alternatif berperan sebagai mekanisme kunci dalam menurunkan biaya energi dan meningkatkan kinerja keberlanjutan, dengan kesiapan organisasi sebagai determinan utama keberhasilan, sementara strategi inovasi hijau masih memerlukan penguatan agar dapat berkontribusi lebih signifikan dalam agenda transisi energi perusahaan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kesiapan organisasi merupakan faktor penentu utama dalam mendorong penerapan bahan bakar alternatif di industri semen. Kesiapan internal yang mencakup aspek struktural, manajerial, teknologi, dan budaya organisasi terbukti berpengaruh signifikan terhadap keberhasilan implementasi bahan bakar alternatif. Penerapan tersebut secara nyata mampu menurunkan biaya energi sekaligus meningkatkan kinerja keberlanjutan perusahaan, baik dari sisi ekonomi, lingkungan, maupun sosial. Selain itu, kesiapan organisasi juga memiliki pengaruh tidak langsung yang signifikan terhadap biaya energi dan kinerja keberlanjutan melalui penerapan bahan bakar alternatif, menegaskan perannya sebagai fondasi transformasi energi. Sebaliknya, strategi inovasi hijau belum menunjukkan pengaruh signifikan, baik secara langsung maupun sebagai variabel mediasi, yang mengindikasikan bahwa strategi tersebut belum terintegrasi secara operasional dalam kebijakan energi perusahaan. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan pentingnya penguatan kesiapan organisasi dan optimalisasi penerapan bahan bakar alternatif, serta perlunya integrasi strategi inovasi hijau agar lebih efektif dalam mendukung transisi energi dan keberlanjutan industri semen.

DAFTAR REFERENSI

- Al Haddad, H. A. A., Soleh, A., & Abi, Y. I. (2023). Pengaruh beban kerja dan disiplin kerja terhadap kinerja karyawan Bank Bengkulu Cabang Manna. *Jurnal Multidisiplin Dehasen (MUDE)*, 2(1). <https://doi.org/10.37676/mude.v2i1.3598>
- Almutairi, H., Alshammari, R. S., Alharbi, M. J., Althobaiti, D. M., Alghamdi, R. S., Alsamiri, S., Mawash, S. W., Ahmed, D. A., Alamoudi, A. A., Arif, F. Y., Albrahim, F. M., Alfahaid, M., & Alanzy, H. W. (2024). Laparoscopic management of inguinal hernia: A systematic review and updated network meta-analysis of randomized controlled trials. *Cureus*, 16(2), 1–9. <https://doi.org/10.7759/cureus.54192>
- Barbhuiya, S., Kanavaris, F., Das, B., & Idrees, M. (2024). Decarbonising cement and concrete production: Strategies, challenges and pathways for sustainable development. *Journal of Building Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108861>

- Beguedou, E., Narra, S., Armoo, E., Agboka, K., & Damgou, M. (2023). Alternative fuels substitution in cement industries for improved energy efficiency and sustainability. *Energies*, 16(8). <https://doi.org/10.3390/en16083533>
- Cooksey, R. (2020). Measurement issues in quantitative research. In *Illustrating statistical procedures: Finding meaning in quantitative data*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2537-7_2
- Daruhadi, G., & Sopiati, P. (2024). Research data collection. *International Journal of Social Service and Research*, 4(7). <https://doi.org/10.46799/ijssr.v4i7.863>
- Duryadi, M., & Tangerang, S. (2024). Processing, analyzing, and testing quantitative research hypotheses with SmartPLS software 3. *Journal of Engineering, Electrical and Informatics*, 4(1). <https://doi.org/10.55606/jeei.v4i1.2845>
- Garrone, P., Grilli, L., & Mrkajic, B. (2018). The role of institutional pressures in the introduction of energy-efficiency innovations. *Business Strategy and the Environment*, 27, 1245–1257. <https://doi.org/10.1002/bse.2072>
- Hair, J., & Alamer, A. (2022). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) in second language and education research: Guidelines using an applied example. *Research Methods in Applied Linguistics*. <https://doi.org/10.1016/j.rmal.2022.100027>
- Haji-Othman, Y., Yusuff, M., & Hussain, M. (2024). Data analysis using partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) in conducting quantitative research. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 14(10). <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v14-i10/23364>
- Hanifa, M., Agarwal, R., & Sharma, U. (2023). A review on CO₂ capture and sequestration in the construction industry: Emerging approaches and commercialised technologies. *Journal of CO₂ Utilization*. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.102292>
- Hu, L., He, Z., & Zhang, S. (2020). Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: Environmental evaluation and performance improvement. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121744. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121744>
- Kondanli, E., & Uzun, I. (2025). A literature review on energy, exergy, and exergoeconomic analyses in cement rotary kilns. *International Journal of Thermodynamics*. <https://doi.org/10.5541/ijot.1572561>
- Koniyo, M., Giriantari, I., Sudarma, M., & Wirastuti, N. (2023). Electronic government system measurement model: A systematic testing of e-government implementation. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v32.i2.pp845-856>
- Koo, M., & Yang, S. (2025). Likert-type scale. *Encyclopedia*, 5(1). <https://doi.org/10.3390/encyclopedia5010018>
- Kusmaryono, I., & Wijayanti, D. (2022). Number of response options, reliability, validity, and potential bias in the use of the Likert scale. *International Journal of Educational Methodology*, 8(4), 625–635. <https://doi.org/10.12973/ijem.8.4.625>

- Lim, W. (2024). What is quantitative research? An overview and guidelines. *Australasian Marketing Journal*. <https://doi.org/10.1177/14413582241264622>
- Machado, C., Almström, P., Öberg, A., Kurdve, M., & Almashalah, S. (2020). Maturity framework enabling organizational digital readiness. *Advances in Transdisciplinary Engineering*. <https://doi.org/10.3233/ATDE200204>
- Mahé, A., & McLauchlin, T. (2021). Operationalization. In *Research methods in the social sciences: An A–Z of key concepts*. SAGE. <https://doi.org/10.4135/9781412956253.n379>
- Manurung, R. N. H., Prakoso, H. A., & Roziqin, A. (2024). Mapping the country's dependence on Indonesia's coal import market. *Theoretical and Practical Research in Economic Fields*, 15(1), 62–74. [https://doi.org/10.14505/tpref.v15.1\(29\).07](https://doi.org/10.14505/tpref.v15.1(29).07)
- Miller, S., Habert, G., Myers, R., & Harvey, J. (2021). Achieving net zero greenhouse gas emissions in the cement industry via value chain mitigation strategies. *One Earth*, 4, 1398–1411. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.09.011>
- Mohajan, H. (2020). Quantitative research: A successful investigation in natural and social sciences. *Journal of Economic Development, Environment and People*, 9(4). <https://doi.org/10.26458/jedep.v9i4.679>
- Mushofa, M., Hermina, D., & Huda, N. (2024). Pilar utama dalam penelitian kuantitatif. *Jurnal Syntax Admiration*, 5(12). <https://doi.org/10.46799/jsa.v5i12.1992>
- Ning, S., Jie, X., & Li, X. (2021). Institutional pressures and corporate green innovation: Empirical evidence from Chinese manufacturing enterprises. *Polish Journal of Environmental Studies*. <https://doi.org/10.15244/pjoes/139926>
- Nursalam, N., Efendi, F., Tristiana, R., Misutarno, M., Mafula, D., & Priyantini, D. (2020). Family empowerment model based on belief and health-related quality of life among housewives with HIV/AIDS. *Systematic Reviews in Pharmacy*. <https://doi.org/10.31838/srp.2020.5.37>
- Panahi, S., Bazrafshani, A., & Mirzaie, A. (2023). Development and validation of a modified LibQUAL scale in health sciences libraries. *Journal of the Medical Library Association*, 111, 792–801. <https://doi.org/10.5195/jmla.2023.1348>
- Rosita, E., Hidayat, W., & Yuliani, W. (2021). Uji validitas dan reliabilitas kuesioner perilaku prososial. *FOKUS: Kajian Bimbingan & Konseling dalam Pendidikan*, 4(4). <https://doi.org/10.22460/fokus.v4i4.7413>
- Said, H., Khotimah, C., Ardiansyah, D., & Khadrinur, H. (2023). Uji validitas dan reliabilitas pemahaman mahasiswa akuntansi. *Jurnal Publikasi Ekonomi dan Akuntansi*, 3(2). <https://doi.org/10.51903/jupea.v3i2.776>
- Setiawan, A., & Horman, J. R. (2022). Causality analysis of coal consumption and biomass consumption to Indonesia economic growth. *Intan Jurnal Penelitian Tambang*, 2(1), 73–79. <https://doi.org/10.56139/intan.v2i1.26>

- Slater, P. (2024). Fundamentals of quantitative research methods in mental health nursing. *Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing*, 32, 457–460. <https://doi.org/10.1111/jpm.13130>
- Sukhov, A., Friman, M., & Olsson, L. (2023). Unlocking potential: An integrated approach using PLS-SEM, NCA, and fsQCA. *Journal of Retailing and Consumer Services*. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2023.103424>
- Trzaska, R., Sulich, A., Organa, M., Niemczyk, J., & Jasiński, B. (2021). Digitalization business strategies in energy sector. *Energies*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/en14237997>
- Wang, C. (2022). Green technology innovation, energy consumption structure and sustainable improvement of enterprise performance. *Sustainability*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/su141610168>
- Wang, C., Chen, Y., Sulistiawan, J., Bui, T., & Tseng, M. (2021). Hybrid approach to corporate sustainability performance in Indonesia's cement industry. *Sustainability*, 13(24). <https://doi.org/10.3390/su132414039>
- Willie, M. (2024). Population and target population in research methodology. *Golden Ratio of Social Science and Education*, 4(1). <https://doi.org/10.52970/grsse.v4i1.405>
- Yang, Y., Din, A., Din, Q., & Khan, I. (2024). Green leadership in manufacturing industry. *Heliyon*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27831>
- Yuniahans, P., Parlika, R., Arhinza, R., Majid, V., & Alifian, M. (2022). Uji validitas aplikasi SI-BOOK menggunakan SPSS. *Jurnal Teknologi Informasi*. <https://doi.org/10.47111/jti.v16i2.5001>
- Yusoff, A., Peng, F., Razak, F., & Mustafa, W. (2020). Discriminant validity assessment using HTMT criterion. *Journal of Physics: Conference Series*, 1529. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/4/042045>
- Zhang, Y., Sun, J., Yang, Z., & Wang, Y. (2020). Critical success factors of green innovation. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121701>