



ANALISIS STRATEGIS BERBASIS SWOT TERHADAP ADOPSI ENERGI TERBARUKAN PADA INDUSTRI MANUFAKTUR: IMPLIKASI TERHADAP KEBERLANJUTAN DAN EFISIENSI OPERASIONAL

(SWOT-Based Strategic Assessment of Renewable Energy Adoption in Manufacturing: Implications for Sustainability and Operational Efficiency)

Rahman Soesilo

Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah A.R Fachruddin Tangerang

Corresponding Author: rahmansusilo537@gmail.com

Article Info

Page :
13 – 26
Submission Date:
7 / Februari / 2026
Accepted Date:
11 / Mei / 2026
Published Date:
1 / Juni / 2026

Keywords: swot analysis, renewable energy adoption, sustainability, operational efficiency

ABSTRACT

This study evaluates renewable energy adoption in an Indonesian manufacturing firm using a SWOT framework (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) to inform sustainability and operational efficiency strategies. A qualitative case study in February–March 2026 used semi-structured interviews, internal records on energy use and projects, and limited observation of the utility system. Factors were coded and prioritized with weighted internal and external factor summaries (IFAS and EFAS), then converted into options through a TOWS strategy matrix. Results show moderate internal readiness (IFAS 2.57) driven by managerial commitment, ongoing energy-saving routines, available utility data, and continuous improvement, but limited by upfront investment pressure, weak energy analytics, dependence on external maintenance, and coordination gaps. The external context is also moderate (EFAS 2.47): low-carbon supply-chain expectations and supportive programs offer opportunities, while policy uncertainty and techno-economic risks remain threats. The study concludes that renewable energy initiatives should be embedded in energy governance, supported by transparent investment business cases and capability development, and implemented in phases from pilot to scale. Firms should maintain an energy roadmap and monitor energy intensity and emissions to sustain measurable cost and reputation gains. Integrating energy indicators into operational targets helps align production reliability, cost control, and decarbonization objectives across functions.

EMAIL

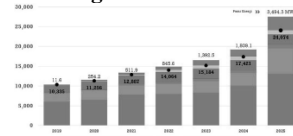
rahmansusilo537@gmail.com


ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi adopsi Energi Baru Terbarukan (EBT) pada sebuah perusahaan manufaktur di Indonesia melalui analisis SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) untuk merumuskan implikasi strategis terhadap keberlanjutan dan efisiensi operasional. Studi kasus kualitatif dilaksanakan pada Februari–Maret 2026 menggunakan wawancara semi-terstruktur, telaah dokumen konsumsi energi dan proyek EBT, serta observasi terbatas pada sistem utilitas. Data dikodekan untuk mengidentifikasi faktor internal dan eksternal, lalu diprioritaskan dengan IFAS/EFAS melalui bobot, rating, dan skor tertimbang, sebelum diturunkan menjadi strategi menggunakan matriks TOWS. Hasil menunjukkan kesiapan internal relatif memadai (skor IFAS 2,57) yang ditopang komitmen manajemen, praktik penghematan

Kata kunci: swot, energi terbarukan, keberlanjutan, efisiensi operasional

Main Figure

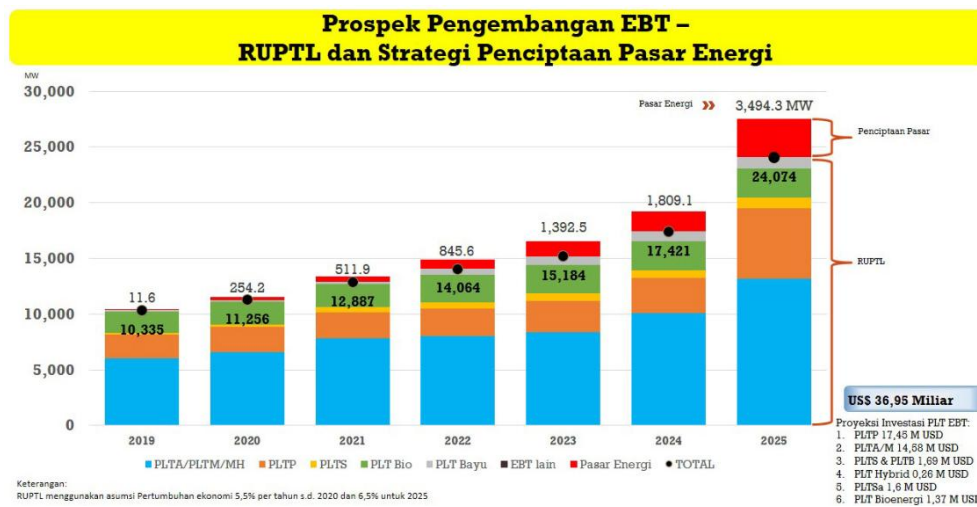


	<p>energi, ketersediaan data, dan budaya perbaikan proses, namun masih dibatasi kebutuhan investasi awal, keterbatasan analitik energi, ketergantungan pemeliharaan, dan koordinasi lintas fungsi. Lingkungan eksternal berada pada tingkat sedang (skor EFAS 2,47) dengan peluang kuat dari tuntutan rantai pasok rendah karbon dan dukungan program, tetapi menghadapi ancaman ketidakpastian kebijakan dan risiko techno-economic. Strategi prioritas mencakup scale-up berbasis quick wins, integrasi indikator energi ke target operasi, penguatan business case investasi, peningkatan kapabilitas, tata kelola manajemen energi, serta implementasi bertahap dari pilot hingga perluasan. Disarankan perusahaan menyusun roadmap energi dan sistem pemantauan intensitas energi serta emisi agar manfaat biaya dan reputasi terukur berkelanjutan, serta memperkuat kolaborasi dengan teknologi dan utilitas.</p>
---	--

PENDAHULUAN

Transformasi keberlanjutan atau *sustainability* di sektor manufaktur semakin menjadi agenda strategis, bukan sekadar kewajiban moral atau kepatuhan administratif. Perusahaan manufaktur berada pada persimpangan antara tuntutan peningkatan produktivitas, tekanan biaya energi yang fluktuatif, dan ekspektasi pemangku kepentingan untuk menurunkan dampak lingkungan. Dalam banyak konteks industri, energi merupakan komponen biaya yang signifikan dalam struktur biaya produksi. Ketika harga energi berubah-ubah atau pasokan tidak sepenuhnya andal, risiko operasional meningkat: jadwal produksi terganggu, biaya overhead membengkak, dan kemampuan perusahaan menjaga mutu serta ketepatan pengiriman dapat menurun [1]. Di saat yang sama, tekanan eksternal juga menguat dari regulator, pelanggan B2B, lembaga pembiayaan, hingga komunitas sekitar, untuk menunjukkan komitmen nyata terhadap pengurangan emisi dan praktik bisnis yang bertanggung jawab. Dalam konteks tersebut, adopsi energi terbarukan (*renewable energy*) menjadi salah satu opsi utama yang semakin dipertimbangkan oleh perusahaan manufaktur. Pilihan seperti pemasangan pembangkit listrik tenaga surya atap, pembelian listrik hijau melalui skema tertentu, hingga peningkatan porsi energi rendah karbon dipandang dapat membantu mengurangi jejak emisi dan ketergantungan pada energi fosil, sekaligus memperkuat ketahanan energi (*energy resilience*) [2]. Namun, keputusan adopsi energi terbarukan di lingkungan manufaktur tidak selalu sederhana. Berbeda dari sektor jasa, manufaktur memiliki beban energi yang intensif, proses produksi yang sering kali tidak dapat berhenti, serta kebutuhan kualitas energi yang stabil. Hal ini memunculkan pertanyaan praktis yang krusial bagi pengambil keputusan: apakah transisi energi dapat berjalan seiring dengan tuntutan efisiensi operasional? Bagaimana perusahaan menyelaraskan investasi keberlanjutan dengan target produktivitas, kualitas, dan biaya?

Di Indonesia, urgensi tersebut terlihat dari dinamika capaian bauran energi nasional. Pemerintah menetapkan target bauran EBT 23% pada 2025, namun realisasinya masih bertumbuh secara bertahap. Pada akhir 2023, realisasi bauran energi primer dari EBT tercatat 13,1%. Pada 2024, bauran EBT mencapai 14,65%, dan pada 2025 meningkat menjadi 15,75%. Kenaikan ini menunjukkan arah yang positif, tetapi sekaligus mengindikasikan adanya kesenjangan yang masih cukup lebar terhadap target 2025. Kondisi tersebut memperkuat kebutuhan strategi implementasi yang lebih efektif, termasuk di sektor manufaktur sebagai salah satu pengguna energi yang besar dan memiliki pengaruh terhadap daya saing ekonomi.



Gambar 1: EBT Indonesia 2023–2025 [3]

Gambar 1 memperlihatkan bahwa bauran EBT Indonesia meningkat konsisten dalam tiga tahun terakhir—dari 13,1% (2023) menjadi 14,65% (2024) dan 15,75% (2025)—namun masih berada di bawah target 23% untuk 2025. Pola ini penting untuk dipahami pembaca non-ahli karena menunjukkan dua hal sekaligus: (1) transisi energi memang sedang berlangsung (ada kemajuan), tetapi (2) kecepatannya belum cukup untuk mengejar target nasional. Dengan kata lain, ada ruang kebutuhan strategis: bagaimana meningkatkan adopsi energi terbarukan melalui keputusan dan praktik di level organisasi, termasuk perusahaan manufaktur, agar dampaknya terasa pada kinerja operasional sekaligus capaian keberlanjutan. Pada level perusahaan, adopsi energi terbarukan kerap menghadapi tantangan yang bersifat teknis, finansial, dan organisasional. Dari sisi finansial, investasi awal (capital expenditure) sering menjadi penghalang karena harus bersaing dengan prioritas lain seperti ekspansi kapasitas, modernisasi mesin, atau program kualitas. Dari sisi teknis, variabilitas sumber energi terbarukan dapat memerlukan penyesuaian sistem kelistrikan, pengaturan beban, dan praktik pemeliharaan tertentu agar tidak mengganggu stabilitas produksi. Dari sisi organisasional, program transisi energi menuntut koordinasi lintas fungsi—operasional, engineering, keuangan, procurement, hingga fungsi keberlanjutan—serta kesiapan kompetensi untuk mengoperasikan dan merawat sistem baru. Namun, peluang juga terbuka, misalnya peningkatan reputasi perusahaan, potensi efisiensi biaya energi dalam jangka panjang, serta peluang merespons permintaan pasar yang semakin menuntut produk rendah karbon.

Karena kompleksitas tersebut, perusahaan membutuhkan kerangka analisis yang memposisikan adopsi energi terbarukan sebagai keputusan strategis—bukan semata proyek teknis. Salah satu pendekatan yang komunikatif dan relevan adalah analisis SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). SWOT membantu memetakan faktor internal perusahaan (kekuatan dan kelemahan) dan faktor eksternal (peluang dan ancaman) secara sistematis. Pendekatan ini berguna untuk menjelaskan kepada pembaca non-spesialis bahwa keberhasilan adopsi energi terbarukan bergantung pada kesesuaian antara kesiapan internal, dinamika pasar/kebijakan, dan manajemen risiko. Berangkat dari kebutuhan tersebut, naskah ini mengangkat persoalan inti: bagaimana perusahaan manufaktur dapat mengevaluasi dan merumuskan strategi adopsi energi terbarukan secara realistis sekaligus selaras dengan tujuan keberlanjutan dan efisiensi operasional. Fokus tulisan ini bukan pada desain teknis sistem energi secara rinci, melainkan pada penilaian strategis yang memetakan faktor-faktor kunci yang memengaruhi keputusan adopsi dan implikasinya terhadap kinerja. Dengan demikian, analisis diarahkan untuk menjawab kekhawatiran praktis: apakah agenda “hijau” menambah beban biaya dan risiko, atau justru memperkuat keandalan operasi dan daya saing jangka panjang.

Secara metodologis, penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus kualitatif dengan mengandalkan data dari wawancara pemangku kepentingan terkait dan telaah dokumen perusahaan. Data dianalisis menggunakan kerangka SWOT untuk mengidentifikasi kekuatan yang dapat

dioptimalkan, kelemahan yang perlu diperbaiki, peluang yang dapat dimanfaatkan, serta ancaman yang perlu dimitigasi. Hasil analisis kemudian digunakan untuk menyusun rekomendasi strategis yang dapat diterapkan secara bertahap sehingga program adopsi energi terbarukan tidak berhenti pada inisiatif simbolik, melainkan menjadi bagian dari perbaikan proses dan tata kelola operasional. Tujuan penelitian ini adalah:

- a. menyajikan penilaian strategis berbasis SWOT terkait adopsi energi terbarukan pada konteks manufaktur,
- b. menjelaskan implikasinya terhadap sustainability dan operational efficiency, serta
- c. merumuskan rekomendasi strategi yang relevan bagi manajemen perusahaan dalam merencanakan, menjalankan, dan mengendalian program transisi energi.

Dengan menempatkan konteks capaian bauran EBT Indonesia (Gambar 1) sebagai latar, naskah ini diharapkan memberi kontribusi praktis: membantu perusahaan manufaktur menyusun langkah strategis yang lebih terarah untuk mempercepat adopsi energi terbarukan, sekaligus menjaga kinerja operasional.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada Februari–Maret 2026 di sebuah perusahaan manufaktur kemasan di Indonesia yang telah mulai menjalankan inisiatif efisiensi energi dan adopsi energi terbarukan. Identitas perusahaan tidak disebutkan untuk menjaga kerahasiaan data internal, namun secara umum perusahaan bergerak pada sub-sektor manufaktur dengan karakter proses produksi yang menggunakan mesin produksi, sistem utilitas, dan konsumsi listrik yang relatif intensif. Objek pengamatan difokuskan pada area produksi dan utilitas, termasuk sistem kelistrikan, penggunaan energi proses, praktik penghematan listrik, serta inisiatif awal pemanfaatan energi terbarukan seperti PLTS atap. Selain itu, penelitian juga mencakup fungsi pendukung yang berperan dalam keputusan investasi dan pengendalian kinerja, yaitu engineering/maintenance, finance/controlling, operation/production, serta fungsi yang terkait dengan sustainability atau manajemen energi.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus untuk menghasilkan penilaian strategis berbasis SWOT atas adopsi energi terbarukan di lingkungan manufaktur. Penelitian ini diposisikan sebagai penilaian awal untuk mendukung pengambilan keputusan perusahaan dalam menyusun arah implementasi energi terbarukan secara bertahap pada periode 2026 dan setelahnya. Dengan demikian, data bauran energi nasional 2023–2025 tidak digunakan sebagai data operasional perusahaan, melainkan sebagai konteks makro yang menunjukkan urgensi transisi energi dan kebutuhan kontribusi sektor industri terhadap percepatan pemanfaatan energi terbarukan.

Data primer dikumpulkan melalui wawancara semi-terstruktur dengan informan kunci yang dipilih secara purposive berdasarkan keterlibatan dalam pengambilan keputusan energi dan proses operasional, meliputi manajemen operasi/produksi, engineering–utilities/maintenance, finance/cost controller, serta penanggung jawab program sustainability/energy (jika tersedia). Data sekunder diperoleh melalui telaah dokumen internal yang relevan, seperti catatan konsumsi energi, laporan utilitas/tagihan, dokumen proyek energi terbarukan, catatan downtime terkait listrik/utility, kebijakan internal, serta KPI efisiensi dan lingkungan; selain itu dilakukan observasi terbatas pada area utilitas/instalasi energi untuk memperkuat pemahaman konteks implementasi dan potensi kendala operasional.

Penentuan bobot dan rating pada matriks IFAS dan EFAS dilakukan melalui pendekatan *expert judgement* terstruktur berbasis hasil wawancara, telaah dokumen, dan observasi lapangan. Tahap pertama dilakukan dengan mengidentifikasi faktor internal dan eksternal dari hasil pengkodean data. Faktor yang muncul berulang dalam wawancara, didukung dokumen internal, dan relevan terhadap keberhasilan adopsi energi terbarukan kemudian dimasukkan sebagai faktor SWOT utama. Tahap kedua dilakukan dengan menilai tingkat kepentingan relatif setiap faktor menggunakan skala prioritas 1–5, di mana nilai lebih tinggi menunjukkan pengaruh yang lebih besar terhadap

keberhasilan implementasi energi terbarukan, efisiensi operasional, dan keberlanjutan. Nilai kepentingan tersebut kemudian dinormalisasi sehingga total bobot faktor internal dan eksternal masing-masing bernilai 1,00.

Rating diberikan untuk menunjukkan kondisi atau respons perusahaan terhadap masing-masing faktor. Pada faktor internal, rating 1 menunjukkan kelemahan yang sangat dominan, rating 2 menunjukkan kelemahan yang masih cukup kuat, rating 3 menunjukkan kekuatan yang cukup memadai, dan rating 4 menunjukkan kekuatan yang sangat baik. Pada faktor eksternal, rating menunjukkan kemampuan perusahaan dalam merespons peluang atau ancaman, mulai dari 1 untuk respons sangat rendah hingga 4 untuk respons sangat baik. Skor tertimbang diperoleh dari hasil perkalian bobot dan rating. Untuk menjaga konsistensi penilaian, hasil bobot dan rating dikonfirmasi kembali secara ringkas kepada informan kunci dan dibandingkan dengan bukti dokumen, seperti catatan konsumsi energi, inisiatif efisiensi, rencana investasi, serta data utilitas perusahaan.

Analisis dilakukan menggunakan kerangka SWOT yang diturunkan menjadi langkah praktis melalui matriks internal–eksternal. Data wawancara dan dokumen terlebih dahulu dikodekan untuk mengidentifikasi faktor Strengths, Weaknesses, Opportunities, dan Threats yang spesifik pada perusahaan, kemudian disusun ke dalam matriks IFAS/EFAS dengan pemberian bobot dan rating guna menghasilkan skor tertimbang sebagai dasar penentuan prioritas faktor. Faktor prioritas tersebut selanjutnya diturunkan ke matriks TOWS untuk merumuskan strategi SO, WO, ST, dan WT, lalu dievaluasi berdasarkan kriteria biaya energi, keandalan operasi/continuity, efisiensi proses, dampak lingkungan (emisi/jejak karbon), serta keberlanjutan jangka panjang agar rekomendasi bersifat operasional dan dapat ditindaklanjuti; validitas temuan dijaga melalui triangulasi (wawancara–dokumen–observasi) serta konfirmasi ringkas kepada informan kunci pada tahap akhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian studi kasus mengenai adopsi energi terbarukan di sebuah perusahaan manufaktur di Indonesia dan membahasnya dengan mengacu pada tujuan penelitian: (1) memetakan faktor internal–eksternal menggunakan SWOT, (2) menurunkan strategi melalui TOWS, serta (3) menjelaskan implikasinya terhadap sustainability dan operational efficiency. Hasil dihimpun dari wawancara informan kunci dan telaah dokumen internal terkait konsumsi energi, rencana/inisiatif energi terbarukan, serta indikator kinerja operasional.

Keterbatasan *energy analytics* dalam penelitian ini tidak hanya merujuk pada ketersediaan data konsumsi energi, tetapi juga pada kemampuan perusahaan dalam mengubah data tersebut menjadi dasar keputusan operasional dan investasi. Data utilitas dasar telah tersedia, namun belum didukung oleh *real-time monitoring*, *load profiling* per lini produksi, serta analisis prediktif untuk memperkirakan pola beban dan potensi intermitensi energi terbarukan. Kondisi ini membuat keputusan energi masih cenderung berbasis evaluasi periodik, bukan berbasis informasi langsung yang dapat digunakan untuk pengendalian beban, optimasi jadwal produksi, atau simulasi keekonomian sistem EBT secara lebih presisi.

Secara internal, kekuatan utama perusahaan terletak pada komitmen manajemen dan keberadaan praktik efisiensi energi yang sudah berjalan, yang menjadi prasyarat penting agar adopsi energi terbarukan tidak berhenti sebagai proyek teknis, melainkan masuk ke tata kelola operasional. Temuan ini konsisten dengan literatur sistem manajemen energi: penerapan kerangka seperti ISO 50001 membantu organisasi mengidentifikasi “significant energy use”, menjalankan perbaikan yang terarah, dan menjaga keberlanjutan program melalui siklus pengendalian. Studi kasus penerapan ISO 50001 di fasilitas manufaktur Indonesia juga menunjukkan manfaat berupa penguatan tata kelola energi dan penurunan emisi/efisiensi yang terjaga ketika sistem manajemen berjalan konsisten [4]. Namun, kelemahan yang paling kritis adalah hambatan capex dan keterbatasan kapabilitas analitik, dua aspek yang sering menyebabkan program energi terbarukan berjalan lambat atau tidak optimal karena keputusan investasi tidak didukung business case yang cukup kuat (mis. payback, risiko, dan dampak operasi).

Tabel 1. Ringkasan faktor internal

Komponen	Faktor internal	Indikasi bukti (ringkas)	Dampak
Strengths (S)	Komitmen manajemen terhadap efisiensi energi & keberlanjutan	Ada program penghematan energi dan inisiatif pengurangan emisi sebagai agenda manajemen	Tinggi
	Praktik efisiensi energi mulai berjalan	Langkah operasional seperti pengurangan beban listrik non-esensial dan optimasi utilitas sudah dilakukan	Sedang–Tinggi
	Ketersediaan data utilitas dasar	Tagihan/utilitas dan catatan konsumsi energi tersedia untuk baseline dan pemantauan	Sedang
	Budaya perbaikan proses (continuous improvement)	Ada rutinitas perbaikan dan kepatuhan SOP yang mendukung disiplin implementasi	Sedang
Weaknesses (W)	Keterbatasan kapasitas energy analytics	Pemantauan energi masih bertumpu pada catatan konsumsi periodik, tagihan listrik, dan laporan utilitas. Perusahaan belum memiliki sistem real-time energy monitoring yang terintegrasi, termasuk penggunaan machine learning, untuk memperkirakan beban energi atau intermitensi output EBT.	Sedang
	Hambatan investasi awal (capex)	Investasi energi terbarukan berkompetisi dengan prioritas produksi/quality/ekspansi	Tinggi
	Ketergantungan pada vendor untuk O&M	Kapabilitas pemeliharaan spesifik sistem (mis. PLTS) masih terbatas	Sedang
	Keterbatasan integrasi lintas fungsi	Koordinasi engineering–finance–operasi belum sepenuhnya dalam satu “roadmap” energi	Sedang

Dari sisi eksternal, peluang terbesar datang dari tekanan pasar dan rantai pasok yang semakin menempatkan aspek ESG sebagai bagian dari daya saing. Di sisi lain, ancaman dominan berada pada ketidakpastian kebijakan dan risiko techno-economic. Literatur terbaru mengenai adopsi energi terbarukan menegaskan bahwa ketidakpastian techno-economic sering muncul sebagai hambatan utama, sementara faktor politik/kebijakan dan dukungan institusional dapat berperan sebagai enabler penting [5]. Di Indonesia, dinamika regulasi juga relevan; misalnya pelanggaran persyaratan kandungan lokal untuk proyek surya pada periode tertentu ditujukan untuk mempercepat investasi dan pemasangan energi terbarukan, namun sekaligus menunjukkan bahwa perubahan kebijakan dapat menjadi variabel yang memengaruhi kecepatan implementasi [6]. Selain itu, hambatan integrasi seperti keterbatasan infrastruktur teknis dan ketersediaan personel kompeten juga sering dilaporkan dalam studi integrasi energi terbarukan, sehingga perusahaan perlu menyiapkan rencana peningkatan kapabilitas serta mitigasi risiko teknis [7].

Sebelum menyusun rekomendasi strategi melalui matriks TOWS, temuan SWOT pada Tabel 1 dan Tabel 2 perlu dikonversi menjadi ukuran yang lebih operasional agar faktor-faktor kunci dapat diprioritaskan secara transparan. Untuk itu, penelitian ini menyusun IFAS (*Internal Factor Analysis Summary*) yang merangkum kekuatan dan kelemahan internal beserta bobot kepentingan serta rating kondisi perusahaan, sehingga menghasilkan skor tertimbang sebagai indikator posisi internal. Pemberian bobot merefleksikan tingkat pengaruh masing-masing faktor terhadap keberhasilan adopsi energi terbarukan, sedangkan rating menggambarkan kekuatan relatif perusahaan pada faktor tersebut (untuk kekuatan) maupun tingkat kelemahan yang masih perlu diperbaiki (untuk

kelemahan). Hasil IFAS pada Tabel 3 menjadi dasar untuk menentukan area internal yang harus dioptimalkan atau diperkuat sebelum strategi eksternal dikombinasikan dalam matriks TOWS.

Tabel 2. Ringkasan faktor eksternal

Komponen	Faktor eksternal	Relevansi terhadap perusahaan	Dampak
<i>Opportunities</i> (O)	Tren permintaan pasar pada produk rendah karbon (ESG supply chain)	Pelanggan B2B dan rantai pasok makin menuntut pembuktian praktik keberlanjutan	Tinggi
	Dukungan kebijakan/insentif & percepatan proyek RE	Kebijakan dapat mempercepat adopsi (mis. pelanggaran hambatan regulatif tertentu di sektor surya)	Sedang–Tinggi
	Pembiayaan transisi energi dan dukungan program	Ketersediaan skema pendanaan/dukungan transisi energi membuka opsi pendanaan	Sedang
	Penurunan biaya teknologi dan peningkatan opsi integrasi	Teknologi RE dan perangkat monitoring makin terjangkau, memudahkan scale-up	Sedang
<i>Threats</i> (T)	Ketidakpastian kebijakan dan implementasi	Perubahan kebijakan, proses perizinan, atau mekanisme pasar dapat mengubah kelayakan	Tinggi
	Risiko techno-economic (ketidakpastian keekonomian & performa)	Variabilitas output, biaya O&M, dan asumsi finansial dapat berubah	Tinggi
	Keterbatasan infrastruktur dan reliabilitas sistem	Hambatan jaringan, SDM, atau infrastruktur dapat mengganggu integrasi	Sedang
	Volatilitas nilai tukar/biaya impor komponen	Harga komponen RE bisa terdampak kurs dan pasokan global	Sedang

Tabel 3. IFAS (Internal Factor Analysis Summary)

Komponen	Faktor internal	Bobot	Rating	Skor tertimbang
S	Komitmen manajemen terhadap efisiensi energi & keberlanjutan	0.15	4	0.60
S	Praktik efisiensi energi mulai berjalan	0.12	3	0.36
S	Ketersediaan data utilitas dasar	0.08	3	0.24
S	Budaya perbaikan proses (continuous improvement)	0.07	3	0.21
W	Keterbatasan kapasitas analitik energi (energy analytics)	0.10	2	0.20
W	Hambatan investasi awal (capex)	0.20	2	0.40
W	Ketergantungan pada vendor untuk O&M	0.14	2	0.28
W	Keterbatasan integrasi lintas fungsi	0.14	2	0.28
Total		1.00		2.57

Skor total IFAS 2,57 menunjukkan posisi internal perusahaan cukup kuat (sedikit di atas rata-rata 2,50), didorong oleh komitmen manajemen dan praktik efisiensi energi yang sudah berjalan.

Namun, hambatan capex dan keterbatasan kapabilitas analitik masih menjadi kelemahan yang perlu diprioritaskan perbaikannya.

Tabel 4. EFAS (External Factor Analysis Summary)

Komponen	Faktor eksternal	Bobot Rating		Skor tertimbang
O	Tren permintaan pasar pada produk rendah karbon (ESG supply chain)	0.18	3	0.54
O	Dukungan kebijakan/insentif & percepatan proyek RE	0.12	3	0.36
O	Pembiayaan transisi energi dan dukungan program	0.08	2	0.16
O	Penurunan biaya teknologi dan peningkatan opsi integrasi	0.07	3	0.21
T	Ketidakpastian kebijakan dan implementasi	0.18	2	0.36
T	Risiko techno-economic (keekonomian & performa)	0.17	2	0.34
T	Keterbatasan infrastruktur dan reliabilitas sistem	0.10	3	0.30
T	Volatilitas nilai tukar/biaya impor komponen	0.10	2	0.20
Total		1.00		2.47

Skor total EFAS 2,47 mengindikasikan respons perusahaan terhadap lingkungan eksternal masih sekitar rata-rata, dengan peluang kuat dari tekanan rantai pasok rendah karbon dan dukungan program, namun dibatasi ancaman berupa ketidakpastian kebijakan dan risiko techno-economic. Berdasarkan hasil IFAS (2,57) dan EFAS (2,47), posisi perusahaan menunjukkan kesiapan internal yang relatif memadai namun menghadapi dinamika eksternal yang menuntut mitigasi risiko. Oleh karena itu, strategi diturunkan melalui matriks TOWS untuk memaksimalkan kekuatan internal dalam menangkap peluang pasar, sambil menutup kelemahan utama (capex dan kapabilitas analitik) serta mengendalikan ancaman ketidakpastian kebijakan dan risiko performa.

Skor EFAS sebesar 2,47 menunjukkan bahwa respons perusahaan terhadap lingkungan eksternal berada pada kategori sedang dan cenderung transisional. Artinya, perusahaan tidak sepenuhnya berada pada posisi pasif atau hanya menunggu regulasi, karena telah terdapat inisiatif internal seperti penghematan energi, pengumpulan data utilitas, dan rencana awal pemanfaatan energi terbarukan. Namun, perusahaan juga belum dapat dikategorikan sebagai pelopor atau *proactive leader* dalam adopsi energi terbarukan, karena keputusan implementasi masih dipengaruhi oleh kepastian regulasi, kelayakan investasi, risiko performa teknologi, serta kesiapan kapabilitas internal. Dengan demikian, posisi perusahaan dapat dipahami sebagai *early follower* atau organisasi yang mulai bergerak merespons tekanan pasar dan kebijakan, tetapi masih membutuhkan roadmap, tata kelola energi, dan business case yang lebih kuat agar dapat bertransformasi menjadi lebih proaktif.

Penyusunan strategi TOWS dilakukan dengan menggabungkan faktor-faktor SWOT yang paling dominan berdasarkan hasil IFAS dan EFAS. Strategi SO dirumuskan dari kombinasi kekuatan internal berupa komitmen manajemen, praktik efisiensi energi yang telah berjalan, dan ketersediaan data utilitas dengan peluang eksternal berupa meningkatnya tuntutan ESG dalam rantai pasok, dukungan kebijakan, serta penurunan biaya teknologi energi terbarukan. Kombinasi ini melahirkan strategi *scale-up* berbasis *quick wins* dan integrasi indikator energi ke KPI operasional, karena perusahaan telah memiliki modal internal untuk merespons peluang pasar rendah karbon secara bertahap.

Strategi WO dirumuskan dari kombinasi kelemahan utama berupa hambatan capex, keterbatasan *energy analytics*, dan ketergantungan O&M pada vendor dengan peluang eksternal berupa pembiayaan transisi energi, dukungan program, dan berkembangnya teknologi monitoring energi. Oleh karena itu, strategi yang relevan adalah penguatan *business case* investasi dan pembangunan kapabilitas *energy analytics* serta O&M. Strategi ini bertujuan mengubah peluang eksternal menjadi mekanisme untuk menutup keterbatasan internal.

Strategi ST disusun dari kombinasi kekuatan internal berupa komitmen manajemen dan budaya *continuous improvement* dengan ancaman eksternal berupa ketidakpastian kebijakan, risiko *techno-economic*, serta potensi gangguan reliabilitas sistem. Kombinasi ini menghasilkan strategi tata kelola berbasis prinsip *energy management system* dan penguatan strategi reliabilitas energi. Strategi tersebut diperlukan agar komitmen internal tidak hanya menghasilkan inisiatif jangka pendek, tetapi juga mampu menahan risiko teknis dan ekonomi dalam implementasi energi terbarukan.

Tabel 5. Matriks strategi TOWS

Kelompok Strategi	Rumusan strategi	Implikasi utama
SO	S1 Komitmen manajemen + S2 praktik efisiensi energi + O1 tren ESG supply chain + O4 penurunan biaya teknologi	Melakukan <i>scale-up</i> adopsi energi terbarukan berbasis <i>quick wins</i> , seperti optimasi beban, pengurangan konsumsi non-esensial, dan perluasan bertahap PLTS atap.
	S3 data utilitas dasar + S4 budaya <i>continuous improvement</i> + O1 tren produk rendah karbon	Mengintegrasikan indikator energi ke KPI operasional, seperti <i>utility cost</i> , <i>energy intensity</i> , OEE, dan emisi.
WO	W2 hambatan capex + W4 koordinasi lintas fungsi terbatas + O2 dukungan kebijakan + O3 pembiayaan transisi energi	Memperkuat <i>business case</i> investasi melalui perhitungan payback, NPV sederhana, sensitivitas tarif listrik, kurs, biaya O&M, dan skenario risiko performa.
	W1 keterbatasan <i>energy analytics</i> + W3 ketergantungan O&M vendor + O4 monitoring makin terjangkau	Membangun kapabilitas <i>energy analytics</i> dan O&M melalui pelatihan, SOP pemeliharaan, transfer knowledge vendor, serta pengembangan dashboard energi bertahap.
ST	S1 komitmen manajemen + S4 budaya <i>continuous improvement</i> + T1 kebijakan + T2 risiko <i>techno-economic</i>	Menerapkan tata kelola energi berbasis prinsip EnMS/ISO 50001, mencakup identifikasi <i>significant energy use</i> , pengukuran, audit internal, dan perbaikan berkelanjutan.
	S2 praktik efisiensi energi + S3 data utilitas + T3 keterbatasan infrastruktur/reliabilitas	Merancang strategi reliabilitas energi melalui <i>load management</i> , preventive maintenance utilitas, dan evaluasi kapasitas sistem sebelum ekspansi EBT.
WT	W2 hambatan capex + W3 ketergantungan vendor + T1 ketidakpastian kebijakan + T4 volatilitas biaya komponen	Melakukan mitigasi risiko kebijakan dan pasokan melalui pengadaan bertahap, diversifikasi vendor, klausul kontrak yang adaptif, dan review regulasi berkala.
	W1 keterbatasan analitik + W4 koordinasi lintas fungsi + T2 risiko performa teknologi	Menerapkan implementasi bertahap melalui pilot, evaluasi performa, standardisasi, dan scale-up berdasarkan indikator efisiensi serta emisi.

Strategi WT dirumuskan dari kombinasi kelemahan internal berupa keterbatasan analitik, capex, dan koordinasi lintas fungsi dengan ancaman eksternal berupa ketidakpastian kebijakan,

volatilitas biaya, dan risiko performa teknologi. Oleh karena itu, strategi yang disarankan adalah implementasi bertahap melalui tahap pilot, evaluasi, dan scale-up, disertai mitigasi risiko melalui kontrak bertahap, diversifikasi vendor, dan review regulasi secara berkala. Strategi ini bertujuan mengurangi risiko kegagalan implementasi sekaligus menjaga stabilitas biaya dan operasi.

Berdasarkan matriks TOWS, strategi yang dihasilkan tidak berdiri secara umum, tetapi berasal dari keterkaitan langsung antara faktor internal dan eksternal yang paling dominan. Misalnya, strategi *scale-up* berbasis *quick wins* muncul dari kombinasi komitmen manajemen, praktik efisiensi energi yang telah berjalan, dan peluang meningkatnya tuntutan ESG dalam rantai pasok. Artinya, perusahaan telah memiliki kesiapan internal awal untuk merespons tekanan pasar rendah karbon, tetapi perlu membuktikan manfaatnya melalui langkah yang terukur dan tidak langsung membebani capex secara besar.

Selain itu, strategi penguatan *business case* investasi lahir dari kombinasi hambatan capex dengan peluang pembiayaan dan dukungan program transisi energi. Strategi ini penting karena hambatan utama perusahaan bukan hanya pada ketersediaan teknologi, tetapi pada kemampuan menunjukkan kelayakan finansial, risiko, dan dampak operasional secara transparan. Sementara itu, strategi tata kelola berbasis EnMS muncul dari kombinasi komitmen manajemen dan budaya *continuous improvement* dengan ancaman *techno-economic*, sehingga perusahaan memiliki mekanisme pengendalian yang berulang untuk memastikan program energi terbarukan tidak mengganggu reliabilitas produksi.

Dengan demikian, prioritas strategi yang paling rasional adalah: (1) membangun tata kelola dan sistem pengukuran energi, (2) memperkuat *business case* investasi, (3) meningkatkan kapabilitas *energy analytics* dan O&M, serta (4) menjalankan implementasi bertahap dari pilot menuju scale-up. Urutan ini menunjukkan bahwa adopsi energi terbarukan dalam konteks manufaktur perlu diperlakukan sebagai proses transformasi operasional, bukan sekadar pemasangan teknologi.

Strategi TOWS menunjukkan bahwa keberhasilan adopsi energi terbarukan di manufaktur tidak hanya bergantung pada pemasangan teknologi, tetapi pada penguatan tata kelola, kemampuan analitik, dan pengikatan program ke KPI operasional. Penerapan prinsip sistem manajemen energi (mis. pendekatan ISO 50001) menjadi strategi “penahan risiko” yang penting karena membantu perusahaan mengontrol faktor-faktor *techno-economic* dan memastikan perbaikan berjalan berulang (*repeatable*), bukan bergantung pada individu [9]. Di sisi lain, strategi WO menekankan bahwa hambatan capex dapat diperkecil ketika perusahaan memiliki *business case* yang robust dan transparan—termasuk analisis sensitivitas terhadap tarif listrik, nilai tukar, biaya perawatan, serta skenario variabilitas output. Hal ini sejalan dengan temuan literatur bahwa ketidakpastian keekonomian menjadi hambatan kunci yang perlu “dipecahkan” melalui kerangka penilaian dan prioritas yang jelas [10]

Secara keseluruhan, hasil penelitian mengindikasikan dua implikasi utama. Pertama, dari sisi operational efficiency, strategi yang paling cepat menghasilkan dampak adalah penguatan manajemen energi dan pengendalian beban (*load management*) karena langsung menekan pemborosan utilitas dan meningkatkan stabilitas operasi. Kedua, dari sisi sustainability, adopsi energi terbarukan perlu diposisikan sebagai bagian dari roadmap perusahaan yang terukur (indikator energi-intensity dan emisi) agar manfaat reputasi ESG dan pengurangan jejak karbon dapat dibuktikan secara konsisten. Pada konteks Indonesia yang bauran EBT-nya meningkat namun masih di bawah target nasional, percepatan implementasi di level perusahaan industri menjadi semakin relevan untuk menutup gap capaian dan memperkuat daya saing manufaktur

3.1. Pemetaan SWOT adopsi energi terbarukan di manufaktur

Hasil pemetaan SWOT (Tabel 1 dan Tabel 2) menunjukkan bahwa keberhasilan adopsi energi terbarukan pada perusahaan manufaktur sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara kesiapan internal dan dorongan eksternal. Dari sisi internal, kekuatan dominan berada pada komitmen manajemen dan keberadaan praktik efisiensi energi yang sudah mulai berjalan. Temuan ini penting karena sektor industri merupakan salah satu pengguna energi terbesar secara global, sehingga peningkatan efisiensi dan transisi energi di manufaktur berpotensi memberi dampak signifikan pada kinerja energi dan emisi [11]. Pada konteks Indonesia, urgensi strategi adopsi energi terbarukan semakin relevan karena capaian bauran EBT meningkat namun masih tertinggal dari target kebijakan

nasional (target >23% pada 2025), sehingga peran korporasi—terutama sektor industri—menjadi salah satu pengungkit percepatan transisi [3].

Kelemahan utama yang mengemuka adalah hambatan investasi awal (capex), kapasitas analitik energi yang belum optimal, serta ketergantungan kompetensi pemeliharaan pada pihak eksternal. Kelemahan ini selaras dengan pola umum adopsi energi terbarukan, di mana biaya awal dan ketidakpastian keekonomian sering menjadi penghambat utama bila tidak disertai kerangka kelayakan investasi yang kuat [12]. Secara eksternal, peluang paling kuat muncul dari meningkatnya tuntutan pasar dan rantai pasok terhadap praktik ESG serta dukungan regulasi yang mendorong pemanfaatan energi surya atap (misalnya perubahan kebijakan PLTS atap yang bertujuan memperluas adopsi) [13]. Namun, ancaman yang perlu diantisipasi berada pada ketidakpastian kebijakan/implementasi, volatilitas biaya (termasuk kurs untuk komponen tertentu), serta risiko techno-economic (intermitensi dan performa sistem) yang dapat berimplikasi langsung pada reliabilitas operasi manufaktur [14].

3.2. Formulasi strategi melalui TOWS dan prioritas implementasi

Berdasarkan sintesis SWOT, strategi TOWS (Tabel 3) menegaskan bahwa rekomendasi yang paling operasional adalah strategi yang mengikat adopsi energi terbarukan ke tata kelola operasional (bukan berdiri sebagai proyek terpisah). Strategi SO berfokus pada *scale-up* berbasis *quick wins* dari inisiatif yang sudah berjalan (misalnya pengendalian beban, perbaikan efisiensi utilitas, dan peningkatan bertahap adopsi RE) sehingga perusahaan memperoleh bukti manfaat (cost saving dan stabilitas operasi) sebelum ekspansi investasi yang lebih besar. Pendekatan bertahap ini membantu menurunkan resistensi internal terhadap capex karena manfaat dapat ditunjukkan secara terukur sejak fase awal. Strategi WO muncul sebagai “jembatan” untuk mengatasi hambatan terbesar, yaitu capex dan keterbatasan kapabilitas. Temuan lapangan mengindikasikan bahwa penguatan *business case* (payback/NPV sederhana, sensitivitas tarif dan kurs, estimasi O&M, serta skenario risiko output) merupakan kunci agar keputusan investasi energi terbarukan menjadi defensible di forum manajemen. Hal ini konsisten dengan literatur yang menekankan techno-economic uncertainty sebagai penghambat signifikan—sehingga organisasi perlu menutup ketidakpastian itu melalui metodologi penilaian dan prioritasasi yang jelas [12].

Strategi ST dan WT terutama bertugas sebagai “pengaman risiko” agar adopsi energi terbarukan tidak menurunkan reliabilitas produksi. Pada bagian ini, hasil mengarah kuat pada penguatan tata kelola melalui praktik *energy management system* (identifikasi *significant energy use*, monitoring, audit internal, dan perbaikan berkelanjutan). Bukti dari studi kasus manufaktur Indonesia menunjukkan bahwa pendekatan berbasis ISO 50001 dapat membantu mempertahankan konsistensi program, mengurangi konsumsi energi, menghasilkan penghematan biaya, dan mendukung penurunan emisi [15]. Dengan demikian, strategi yang paling rasional untuk diprioritaskan adalah: (1) penguatan tata kelola energi dan pengukuran, (2) penguatan *business case* investasi, dan (3) peningkatan kapabilitas O&M/energy analytics untuk menjaga performa sistem serta kontinuitas operasi.

3.3. Implikasi terhadap *sustainability* dan *operational efficiency*

Implikasi hasil terhadap **operational efficiency** terlihat pada dua jalur utama. Pertama, efisiensi biaya energi dan pengendalian utilitas: industri sebagai pengguna listrik yang besar membuat setiap perbaikan efisiensi berpotensi langsung mengurangi biaya overhead. Data kelistrikan Indonesia juga menunjukkan porsi konsumsi listrik industri yang signifikan, sehingga efisiensi di sektor ini memiliki dampak ekonomi yang nyata [16]. Kedua, reliabilitas operasi: strategi load management, preventive maintenance utilitas, dan kesiapan O&M untuk sistem RE menurunkan risiko gangguan proses produksi (downtime terkait utilitas) dan menjaga kestabilan kualitas energi yang dibutuhkan proses manufaktur.

Sementara itu, implikasi terhadap *sustainability* tercermin pada pengurangan emisi (melalui penurunan konsumsi energi fosil dan peningkatan porsi energi bersih), penguatan reputasi ESG, serta kesiapan menghadapi tuntutan rantai pasok rendah karbon. Di tingkat nasional, capaian bauran EBT 2024–2025 menunjukkan tren naik (misalnya 14,65% pada 2024 dan 15,75% pada 2025), tetapi masih menandakan kebutuhan percepatan agar selaras dengan target kebijakan [3]. Dalam kerangka ini, strategi perusahaan manufaktur berbasis SWOT/TOWS menjadi relevan sebagai instrumen

mikro (level perusahaan) yang memperkuat capaian makro (level nasional): perusahaan dapat mempercepat adopsi energi terbarukan melalui langkah bertahap yang menjaga kelayakan finansial dan stabilitas operasi, sekaligus meningkatkan kontribusi pada agenda keberlanjutan. Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa adopsi energi terbarukan paling efektif ketika diposisikan sebagai program strategis lintas fungsi (*Operation-engineering-finance-sustainability*) dengan indikator kinerja yang jelas (biaya energi, energy intensity, keandalan utilitas, dan indikator dampak lingkungan). Dengan demikian, rekomendasi strategi yang dihasilkan (Tabel 3) tidak hanya menjawab “apa yang perlu dilakukan”, tetapi juga “mengapa langkah itu prioritas”, serta “bagaimana langkah itu menjaga trade-off antara efisiensi operasional dan sustainability” di konteks manufaktur.

KESIMPULAN

Studi ini mengevaluasi adopsi energi terbarukan pada sebuah perusahaan manufaktur kemasan di Indonesia dengan pendekatan SWOT untuk menilai implikasinya terhadap keberlanjutan dan efisiensi operasional. Penelitian ini diposisikan sebagai penilaian strategis awal untuk mendukung pengambilan keputusan perusahaan dalam menyusun roadmap energi terbarukan pada periode 2026 dan setelahnya. Konteks bauran EBT Indonesia 2023–2025 digunakan sebagai latar makro yang menunjukkan bahwa transisi energi nasional mengalami peningkatan, tetapi masih memerlukan percepatan, termasuk melalui kontribusi sektor industri.

Melalui studi kasus kualitatif yang menggabungkan wawancara, telaah dokumen utilitas, dan observasi terbatas, faktor internal dan eksternal dipetakan serta diprioritaskan menggunakan IFAS dan EFAS. Penentuan bobot dilakukan melalui *expert judgement* terstruktur berdasarkan hasil triangulasi data, kemudian dinormalisasi untuk menghasilkan skor tertimbang. Hasil IFAS sebesar 2,57 menunjukkan kesiapan internal perusahaan relatif memadai, terutama karena adanya komitmen manajemen, praktik efisiensi energi, data utilitas dasar, dan budaya perbaikan proses. Namun, kelemahan utama masih terdapat pada hambatan capex, keterbatasan *energy analytics*, ketergantungan O&M pada vendor, serta koordinasi lintas fungsi yang belum sepenuhnya terintegrasi.

Hasil EFAS sebesar 2,47 menunjukkan bahwa respons perusahaan terhadap lingkungan eksternal berada pada tahap transisional. Perusahaan tidak sepenuhnya pasif karena telah memiliki inisiatif efisiensi dan rencana awal pemanfaatan energi terbarukan, tetapi juga belum sepenuhnya proaktif karena keputusan implementasi masih dipengaruhi oleh kepastian regulasi, kelayakan investasi, risiko *techno-economic*, dan kesiapan kapabilitas internal. Matriks TOWS menghasilkan strategi prioritas berupa *scale-up* berbasis *quick wins*, integrasi KPI energi ke target operasional, penguatan *business case* investasi, pembangunan kapabilitas *energy analytics* dan O&M, penerapan tata kelola energi berbasis prinsip EnMS, serta implementasi bertahap melalui pilot, evaluasi, dan scale-up.

Secara keseluruhan, adopsi energi terbarukan paling efektif apabila diposisikan sebagai program lintas fungsi yang terintegrasi dengan operasi, engineering, finance, dan sustainability. Temuan ini menekankan perlunya roadmap energi, sistem monitoring intensitas energi dan emisi, serta kolaborasi dengan penyedia teknologi dan utilitas agar manfaat biaya, reliabilitas operasi, dan reputasi ESG dapat diukur secara berkelanjutan. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan kerangka strategis yang praktis bagi perusahaan manufaktur dalam menyeimbangkan agenda keberlanjutan dengan tuntutan efisiensi operasional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Menghi, A. Papetti, M. Germani, and M. Marconi, "Energy efficiency of manufacturing systems: A review of energy assessment methods and tools," *J. Clean. Prod.*, vol. 240, p. 118276, 2019.
- [2] M. Mehta, G. Pancholi, and A. Saxena, "Organizational resilience and sustainability: a bibliometric analysis," *Cogent Business & Management*, vol. 11, no. 1, p. 2294513, 2024.
- [3] ESDM, "Kejar Target Bauran Energi 2025, Dibutuhkan Investasi EBT Hingga USD36,95 Miliar," Kementerian ESDM.
- [4] A. Trubetskaya, O. McDermott, and S. McGovern, "Implementation of an ISO 50001 energy management system using Lean Six Sigma in an Irish dairy: a case study," *The TQM Journal*, vol. 35, no. 9, pp. 1–24, 2023.
- [5] W. Strielkowski, L. Civiń, E. Tarkhanova, M. Tvaronavičienė, and Y. Petrenko, "Renewable energy in the sustainable development of electrical power sector: A review," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 24, p. 8240, 2021.
- [6] Y. A. Wahyuddin, R. M. Hidayat, and T. R. Verdiansyah, "Strategi Kebijakan Blue Economy Indonesia Dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan Pada Era Joko Widodo," *Sriwijaya Journal of International Relations*, vol. 2, no. 2 (Des), pp. 70–87, 2022.
- [7] K. Abbass, M. Z. Qasim, H. Song, M. Murshed, H. Mahmood, and I. Younis, "A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 28, pp. 42539–42559, 2022.
- [8] B. Sarkar, M. Ullah, and M. Sarkar, "Environmental and economic sustainability through innovative green products by remanufacturing," *J. Clean. Prod.*, vol. 332, p. 129813, 2022.
- [9] S. Grant-Muller and M. Usher, "Intelligent Transport Systems: The propensity for environmental and economic benefits," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 82, pp. 149–166, 2014.
- [10] N. P. Hariram, K. B. Mekha, V. Suganthan, and K. Sudhakar, "Sustainalism: An integrated socio-economic-environmental model to address sustainable development and sustainability," *Sustainability*, vol. 15, no. 13, p. 10682, 2023.
- [11] M. K. Ardakani and S. M. Seyedaliakbar, "Impact of energy consumption and economic growth on CO2 emission using multivariate regression," *Energy Strategy Reviews*, vol. 26, p. 100428, 2019.
- [12] M. A. Beheshtinia, S. N. Yaghobian, M. Fathi, M. Ghobakhloo, and B. Foroughi, "Overcoming barriers to renewable energy adoption: A decision-making framework for strategy evaluation and implementation prioritization," *Cleaner Environmental Systems*, vol. 18, p. 100314, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2025.100314>.
- [13] C. Maranesi and P. De Giovanni, "Modern circular economy: Corporate strategy, supply chain, and industrial symbiosis," *Sustainability*, vol. 12, no. 22, p. 9383, 2020.
- [14] P. E. Brockway, S. Sorrell, G. Semieniuk, M. K. Heun, and V. Court, "Energy efficiency and economy-wide rebound effects: A review of the evidence and its implications," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 141, p. 110781, 2021.

- [15] A. T. Nugraha, R. Leonard, I. Sriwijayasih, E. Novianarenti, and A. M. Disrinama, "Case Studies of Successful Energy Management Initiatives," in *Maritime Infrastructure for Energy Management and Emission Reduction Using Digital Transformation*, Springer, 2025, pp. 211–228.
- [16] PLN, "Statistik-PLN-2022," Jakarta, Oct. 2023.