



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 4 (2025) pp: 1808-1819

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Strategi Peningkatan Kinerja Operasional dan Keberlanjutan Energi Menggunakan SWOT dan Value Chain pada Pembangkit Listrik

Ahmad Adrian Hanafiyah¹, Ayu Pratami², Mardiansyah³, Firman Amir⁴, Fariz Rohman Maulana⁵, Nur Saidah⁶

^{1,3,4,5,6}Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya,

²Universitas Pamulang

¹adrian.hanafiyah@gmail.com, ²dosen03020@unpam.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merumuskan strategi komprehensif untuk meningkatkan kinerja operasional dan keberlanjutan energi pada pembangkit listrik di Provinsi Banten melalui integrasi analisis Value Chain dan SWOT (Strength, Weakness, Opportunity, Threat). Permasalahan utama yang diangkat adalah kebutuhan mendesak untuk mencapai efisiensi operasional maksimum sambil mendorong transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan rendah karbon. Penelitian ini mengadopsi metode mixed-method, menggabungkan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Data dikumpulkan melalui wawancara mendalam dengan pihak manajerial, penyebaran kuesioner, dan observasi lapangan. Analisis kualitatif (Value Chain dan SWOT) dilanjutkan dengan analisis kuantitatif menggunakan Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM) untuk memprioritaskan strategi yang paling berdampak dan feasible. Hasil analisis QSPM mengidentifikasi tiga strategi prioritas yang harus segera diimplementasikan. Pertama, optimalisasi sistem Automatic Generation Control (AGC) untuk meningkatkan efisiensi operasi. Kedua, penerapan co-firing biomassa secara masif untuk mengurangi ketergantungan pada batubara. Ketiga, digitalisasi sistem pemeliharaan berbasis predictive maintenance. Strategi ini diprediksi mampu meningkatkan Equivalent Availability Factor (EAF) sebesar 3%, menurunkan Heat Rate sebesar 2%, dan meningkatkan bauran energi terbarukan hingga 10%. Implementasi strategi ini akan dilakukan melalui roadmap lima tahunan yang terstruktur, didukung oleh kebijakan internal yang kuat mengenai efisiensi energi dan kemitraan strategis dengan pemangku kepentingan. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan acuan transformasional yang praktis bagi industri pembangkit listrik di Banten untuk mencapai sistem yang efisien, berdaya saing, dan mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) nasional. Implementasi dilakukan bertahap melalui roadmap lima tahun, didukung kebijakan efisiensi energi dan kolaborasi lintas pemangku kepentingan. Hasilnya diharapkan menjadi acuan transformasi menuju sistem pembangkit yang efisien, berkelanjutan, dan rendah karbon.

Kata kunci: Kinerja Operasional, Keberlanjutan Energi, SWOT, Value Chain, Pembangkit Listrik

1. Latar Belakang

Industri pembangkit listrik di Indonesia, khususnya di Provinsi Banten yang merupakan pusat energi utama sistem Jawa-Bali (seperti PLTU Suralaya dan PLTU Labuan), dihadapkan pada dua tuntutan strategis yang krusial terkait efisiensi kinerja operasional dan transisi menuju keberlanjutan energi. Kinerja operasional mencakup keandalan pasokan, optimalisasi biaya produksi, dan efisiensi penggunaan bahan bakar (ditunjukkan oleh metrik seperti *Equivalent Availability Factor* (EAF) dan *Heat Rate*). Sementara itu, isu keberlanjutan didorong oleh komitmen pemerintah Indonesia untuk mencapai target bauran energi baru terbarukan, yang termasuk dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero).

Pembangkit listrik konvensional (contohnya PLTU) memiliki keunggulan dalam biaya operasional yang rendah (*baseload*) namun rentan terhadap isu lingkungan dan fluktuasi harga komoditas. Di sisi lain, teknologi EBT seperti PLTS memiliki potensi keberlanjutan yang tinggi namun memerlukan manajemen sistem yang kompleks dan investasi awal yang besar. Untuk menjembatani kesenjangan ini, diperlukan perumusan strategi yang mengintegrasikan kedua aspek tersebut.

Penelitian ini mengadopsi dua alat analisis strategis yang terkemuka. Pertama, Analisis SWOT akan digunakan untuk memahami posisi kompetitif perusahaan dalam konteks regulasi transisi energi. Kedua, Analisis *Value*

Chain akan membedah aktivitas internal perusahaan, mulai dari pengadaan bahan bakar hingga transmisi, untuk mengidentifikasi secara spesifik di mana inefisiensi biaya terjadi dan di mana nilai keberlanjutan (misalnya, teknologi *smart system* untuk optimasi, atau *co-firing biomassa*) dapat disuntikkan untuk meningkatkan margin.

Dengan memfokuskan studi pada pembangkit listrik di Banten, yang merupakan wilayah strategis dengan tantangan dan peluang yang unik, hasil penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan peta jalan strategis yang implementatif untuk mencapai kinerja operasional yang unggul sekaligus mendukung agenda energi berkelanjutan nasional.

Kemampuan adaptif akan membantu organisasi menghadapi tantangan revolusi industri keempat dengan mendorong praktik inovatif dan berkelanjutan (Pauceanu et al., 2021). sehingga pengguna dapat menilai efektivitas biaya dan efisiensi di berbagai sektor (Yandri et al., 2024). Implementasi teknologi seperti ini menegaskan pentingnya pemantauan berkelanjutan dan penyesuaian strategis untuk menjaga efisiensi tinggi (Cruz et al., 2024). Pendekatan proaktif ini tidak hanya melindungi aset tetapi juga memastikan operasi berjalan tanpa gangguan, sehingga meningkatkan kinerja secara keseluruhan (Obi et al., 2024).

Kurangnya akses terhadap pembiayaan swasta tetap menjadi hambatan besar, terutama di wilayah berkembang (Liu et al., 2021). Upaya kolaboratif antara pemerintah, investor sektor swasta, dan organisasi internasional sangat penting untuk menciptakan lingkungan regulasi yang mendukung serta menyelaraskan insentif finansial dengan tujuan energi terbarukan (Onabowale, 2025). Diperlukan peran dalam mendukung integrasi sumber energi terbarukan, khususnya di kawasan ASEAN (Mohammad et al., 2021). Energi terbarukan dan inovasi hijau, yang berperan penting dalam mencapai keberlanjutan lingkungan dan mengurangi emisi CO₂ (Behera et al., 2024).

Promosi teknologi sangat penting dalam memerangi perubahan iklim serta mendukung pembangunan ekonomi dan sosial (Senthil, 2022), penggunaan energi terbarukan menjadi elemen utama strategi keberlanjutan (Frimpong et al., 2024). Namun hal ini membutuhkan investasi finansial yang besar serta pengembangan infrastruktur (Gyani dan Chandel, 2025). SWOT menegaskan pentingnya kerangka strategi yang terstruktur untuk mengoptimalkan potensi energi (Almutairi et al., 2021).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode campuran (*mixed method*) dengan pendekatan sekuensial eksplorasi (kualitatif dan kuantitatif). Tahap Kualitatif digunakan untuk eksplorasi awal, penggalan data primer melalui wawancara mendalam, dan identifikasi faktor-faktor strategis internal (*Value Chain*) dan eksternal (SWOT) secara komprehensif. Tahap Kuantitatif digunakan untuk mengukur dan memprioritaskan faktor-faktor dan strategi yang telah dirumuskan melalui pembobotan dan penghitungan matriks, sehingga memberikan validitas dan urutan prioritas yang terukur.

Lokasi penelitian ini di Perusahaan Pembangkit Listrik (PLTU/PLTGU/PLT EBT) yang beroperasi di Provinsi Banten (Contoh: Unit Pembangkit di kawasan Cilegon atau Serang, Banten). Objek penelitian adalah strategi korporat untuk peningkatan kinerja operasional dan keberlanjutan energi.

Penelitian ini menggunakan dua jenis sumber data, yaitu data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara mendalam dengan pihak internal perusahaan, seperti Manajer Operasi, Manajer Pemeliharaan, Manajer Keuangan/Perencanaan Strategis, serta Manajer Lingkungan dan K3L. Selain itu, kuesioner disebarluaskan kepada responden ahli atau manajerial untuk memberikan pembobotan dan penilaian terhadap faktor-faktor SWOT.

Pengumpulan data primer juga didukung oleh observasi langsung terhadap aktivitas operasional penting, seperti rantai pasok bahan bakar, sistem kendali operasi, dan pengelolaan emisi. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari laporan kinerja operasional (*EAF, Heat Rate, FOR, dan LCOE*), laporan tahunan dan keberlanjutan perusahaan, serta dokumen kebijakan energi seperti RUPTL 2021–2030 dan peraturan Kementerian ESDM terkait energi baru terbarukan (EBT). Penelusuran literatur juga mencakup jurnal dan penelitian nasional yang relevan pada periode 2020–2025.

Teknik pengumpulan data dilakukan secara sistematis melalui tiga pendekatan utama. Pertama, studi literatur dan dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan data sekunder serta memperkuat dasar teoritis, mengacu pada

konsep *Value Chain* Porter (1985) dan pendekatan *Strategic Cost Management* oleh Shank & Govindarajan (1993), serta hasil penelitian terbaru.

Kedua, wawancara mendalam dilakukan menggunakan panduan pertanyaan terstruktur untuk memetakan aktivitas nilai secara rinci dan mengidentifikasi faktor-faktor kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman (SWOT). Ketiga, kuesioner pembobotan digunakan untuk mengukur persepsi responden terhadap faktor SWOT menggunakan skala Likert, sehingga memungkinkan kuantifikasi dalam bentuk bobot dan nilai (*rating*) yang dapat diolah lebih lanjut secara analitis.

Analisis data dilakukan secara bertahap dimulai dengan *Value Chain Analysis* guna mengidentifikasi faktor internal perusahaan. Proses ini mencakup pemetaan aktivitas utama dan pendukung dalam rantai nilai, *analisis cost driver* dan *value driver* untuk menilai efisiensi biaya serta nilai tambah di tiap aktivitas. Hasil analisis ini digunakan untuk menentukan kekuatan (S) dan kelemahan (W) perusahaan berdasarkan aktivitas yang memberikan keunggulan atau justru inefisiensi. Tahap berikutnya adalah analisis SWOT dengan menyusun Matriks Evaluasi Faktor Internal (IFE) dan Eksternal (EFE).

Setiap faktor diberi bobot dan rating berdasarkan hasil kuesioner, kemudian nilai total IFE dan EFE digunakan untuk menentukan posisi strategis perusahaan melalui diagram kuadran SWOT. Matriks SWOT kemudian digunakan untuk merumuskan strategi alternatif (SO, WO, ST, WT) yang paling sesuai dengan kondisi internal dan eksternal.

Tahap akhir analisis adalah penyusunan strategi prioritas melalui sintesis antara hasil analisis SWOT dan temuan dari *Value Chain*. Strategi yang dihasilkan dievaluasi kembali untuk memastikan kesesuaiannya dengan aspek operasional, keberlanjutan, dan efisiensi biaya. Selanjutnya, metode *Quantitative Strategic Planning Matrix* (QSPM) digunakan untuk menilai daya tarik relatif setiap strategi secara kuantitatif melalui perhitungan *Total Attractiveness Score* (TAS).

Strategi dengan nilai TAS tertinggi dipilih sebagai strategi utama yang direkomendasikan untuk implementasi. Hasil akhir disajikan dalam bentuk peta jalan strategis (*strategic roadmap*) yang terukur dan berorientasi pada peningkatan kinerja operasional sekaligus mendukung pencapaian target keberlanjutan perusahaan.

3. Hasil dan Diskusi

Penelitian ini berfokus pada unit pembangkit listrik yang beroperasi di wilayah Provinsi Banten, salah satu pusat energi strategis dalam sistem kelistrikan Jawa-Bali. Perusahaan yang menjadi objek penelitian merupakan bagian dari PT PLN (Persero) dengan tipe pembangkit berbasis batubara dan sistem kendali otomatis melalui *Automatic Generation Control* (AGC) yang terintegrasi ke dalam sistem SCADA/EMS JAMALI. Struktur organisasi operasional terdiri atas beberapa fungsi utama, yaitu manajemen operasi, pemeliharaan, perencanaan strategis/keuangan, dan lingkungan/K3L. Data operasional yang dianalisis mencakup periode Januari–September 2025, dengan indikator kinerja utama berupa *Equivalent Availability Factor* (EAF), *Heat Rate*, *Forced Outage Rate* (FOR), total produksi energi listrik (MWh), biaya bahan bakar (fuel cost), serta *Levelized Cost of Energy* (LCOE). Indikator-indikator ini digunakan untuk menggambarkan performa efisiensi pembangkit dan menjadi dasar identifikasi faktor internal dalam analisis *Value Chain*. Secara umum, EAF rata-rata menunjukkan kecenderungan stabil di atas 80%, menandakan tingkat keandalan sistem yang cukup baik, meskipun masih terdapat fluktuasi kecil akibat peningkatan kegiatan pemeliharaan dan variasi beban operasi.

Selain data kuantitatif, penelitian ini juga mengumpulkan informasi kualitatif melalui wawancara mendalam dan observasi langsung di lapangan. Wawancara dilakukan terhadap empat narasumber utama yang terdiri dari Manajer Operasi, Manajer Pemeliharaan, Manajer Keuangan/Perencanaan Strategis, dan Manajer Lingkungan/K3L. Setiap narasumber memberikan perspektif berbeda terkait efisiensi rantai nilai pembangkit dan tantangan keberlanjutan, seperti optimalisasi bahan bakar, pengendalian emisi, serta penerapan sistem digital berbasis AGC. Observasi lapangan difokuskan pada tiga area kritis dalam *value chain*, yaitu logistik bahan bakar, ruang kontrol operasi, dan sistem pengendalian emisi. Hasil observasi menunjukkan bahwa kegiatan pengendalian otomatis melalui SCADA dan AGC berperan penting dalam menjaga kestabilan beban dan efisiensi energi, meskipun masih ditemukan keterbatasan integrasi antara sistem digital dan kesiapan sumber daya manusia. Kombinasi hasil wawancara dan data operasional ini menjadi landasan utama dalam

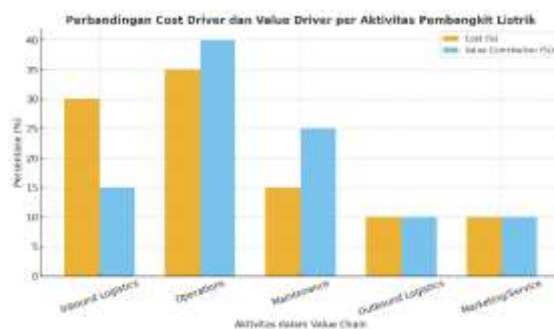
analisis mendalam pada tahap *Value Chain Analysis* dan penentuan faktor-faktor strategis pada bab berikutnya.

3.1 Hasil Analisis *Value Chain*

Analisis *Value Chain* pada perusahaan pembangkit listrik di Provinsi Banten dilakukan untuk mengidentifikasi aktivitas yang menciptakan nilai serta aktivitas yang menyebabkan pemborosan biaya dalam sistem operasi pembangkitan. Berdasarkan pemetaan yang dilakukan terhadap rantai nilai, aktivitas utama mencakup *inbound logistics* (pengadaan dan transportasi batubara), *operations* (proses pembakaran dan konversi energi), *maintenance* (pemeliharaan rutin dan korektif), *outbound logistics* (penyaluran daya ke jaringan transmisi), dan *marketing/service* (pengelolaan kinerja dan kepuasan pelanggan industri). Sementara itu, aktivitas pendukung meliputi manajemen sumber daya manusia, pengembangan teknologi, pengadaan peralatan, serta fungsi infrastruktur dan keuangan. Diagram rantai nilai menunjukkan bahwa efisiensi terbesar ditentukan oleh koordinasi antara bagian operasi, pemeliharaan, dan sistem kontrol otomatis (AGC/SCADA), yang berperan langsung terhadap keandalan pasokan listrik dan stabilitas beban sistem.

Hasil kuantifikasi terhadap *cost driver* dan *value driver* menunjukkan bahwa komponen biaya terbesar terdapat pada aktivitas *operations* dan *inbound logistics*, dengan kontribusi sekitar 60–65% dari total biaya produksi listrik. Biaya pengadaan dan transportasi batubara mencapai porsi dominan, disusul oleh biaya pemeliharaan mesin dan sistem kendali. Sementara itu, nilai tambah tertinggi dihasilkan dari aktivitas pemeliharaan prediktif berbasis digital monitoring yang mampu menekan *Forced Outage Rate (FOR)* hingga di bawah 3%. Dari segi kinerja, setiap aktivitas utama dihitung dalam satuan biaya per MWh, downtime rata-rata, serta frekuensi perawatan. Misalnya, peningkatan akurasi sistem AGC dapat menurunkan *Equivalent Heat Rate* sebesar 1–1,5%, yang secara langsung meningkatkan efisiensi bahan bakar dan menurunkan LCOE (Levelized Cost of Energy).

Melalui proses identifikasi aktivitas bernilai tambah versus aktivitas yang tidak bernilai tambah, ditemukan bahwa aktivitas *fuel handling* dan *coal blending* di terminal batubara masih menyumbang pemborosan biaya akibat jarak suplai yang panjang dan keterlambatan logistik mencapai 8–10% dari total waktu siklus. Di sisi lain, aktivitas bernilai tinggi muncul dari pengembangan sistem kontrol berbasis SCADA dan implementasi *predictive maintenance*, yang mendukung efisiensi operasional dan memperpanjang umur aset. Aktivitas pendukung seperti pelatihan teknisi dan digitalisasi sistem perawatan juga memberikan dampak positif terhadap peningkatan nilai, karena mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja eksternal dan mempercepat pengambilan keputusan berbasis data real-time.



Gambar 2. Analisis Cost dan Value Driver

Temuan kunci dari analisis *Value Chain* menunjukkan bahwa inefisiensi utama bersumber dari dua titik kritis, yaitu proses pengadaan batubara dan sinkronisasi sistem kontrol AGC. Pengadaan batubara mengalami kenaikan biaya transportasi karena ketergantungan pada pemasok jarak jauh, menyebabkan *cost driver* meningkat hingga 15% dibandingkan dengan rata-rata regional. Sementara itu, pengujian AGC yang tercatat dalam dokumen prosedur menunjukkan adanya latensi komunikasi dan *ramp rate* yang belum optimal, berdampak pada penurunan *Equivalent Availability Factor (EAF)* sebesar 0,5–1%. Analisis akar penyebab dengan pendekatan *fishbone* mengindikasikan bahwa penyebab dominan berasal dari keterbatasan koordinasi antara sistem SCADA pusat (JCC) dan DCS di pembangkit, serta belum maksimalnya penggunaan algoritma prediksi beban. Dengan memperbaiki dua titik inefisiensi tersebut, perusahaan dapat memperkuat rantai nilai dan mendorong kinerja operasional menuju standar efisiensi.

3.2 Hasil Analisis SWOT

Analisis SWOT kuantitatif dilakukan dengan menggabungkan hasil wawancara manajerial, observasi operasional, serta dokumentasi perusahaan dan kebijakan energi nasional. Faktor internal mencakup seluruh aktivitas dalam rantai nilai (value chain) pembangkit, meliputi operasi, pemeliharaan, logistik bahan bakar, sistem kendali, dan kegiatan pendukung seperti SDM dan teknologi informasi. Dari hasil identifikasi, ditemukan beberapa kekuatan utama perusahaan, antara lain keandalan sistem pembangkitan berbasis SCADA/AGC, kemampuan tim operasional dalam menjaga Equivalent Availability Factor (EAF) di atas standar nasional, serta efisiensi biaya operasional yang relatif baik karena optimasi pemakaian bahan bakar. Sementara itu, kelemahan utama terletak pada tingginya Forced Outage Rate (FOR) akibat keterlambatan pemeliharaan preventif dan belum optimalnya adopsi teknologi ramah lingkungan seperti co-firing biomassa.

Faktor eksternal dihimpun melalui telaah laporan RUPTL 2021–2030 dan wawancara dengan pengambil kebijakan di bidang energi. Peluang utama berasal dari meningkatnya dukungan pemerintah terhadap energi baru terbarukan serta kebijakan insentif hijau bagi perusahaan yang mengadopsi teknologi efisiensi dan dekarbonisasi. Selain itu, perkembangan teknologi digitalisasi pembangkit membuka ruang besar untuk inovasi operasional.

Tabel 1. Matriks Internal Factor Evaluation (IFE)

| Faktor Internal | Bobot | Rating | Skor |
|--|-------|--------|---------------------------------|
| Keandalan sistem operasi dan kontrol AGC | 00.12 | 4 | 00.48 |
| Efisiensi pemakaian bahan bakar (Heat Rate stabil) | 00.10 | 3 | 00.30 |
| Kompetensi teknis SDM operasional | 00.08 | 3 | 00.24 |
| Pemeliharaan preventif belum optimal | 00.09 | 2 | 00.18 |
| Keterbatasan integrasi teknologi EBT | 00.10 | 2 | 00.20 |
| Total Skor IFE | | | 1.40 (Bobot) + Skor Total: 3.02 |

Tabel 2. Matriks External Factor Evaluation (EFE)

| Faktor Eksternal | Bobot | Rating | Skor |
|---|-------|--------|---------------------------------|
| Dukungan kebijakan nasional terhadap EBT | 00.15 | 4 | 0,041667 |
| Akses ke teknologi digitalisasi pembangkit | 00.12 | 3 | 00.36 |
| Fluktuasi harga batubara global | 00.10 | 2 | 00.20 |
| Regulasi emisi karbon yang semakin ketat | 00.08 | 3 | 00.24 |
| Peluang kolaborasi dengan mitra teknologi hijau | 00.10 | 4 | 00.40 |
| Total Skor EFE | | | 1.55 (Bobot) + Skor Total: 3.12 |

Hasil perhitungan menunjukkan skor IFE sebesar 3.02, menandakan posisi internal perusahaan kuat karena mampu mempertahankan efisiensi dan stabilitas operasional meskipun menghadapi keterbatasan integrasi EBT. Sementara skor EFE sebesar 3.12 menunjukkan bahwa perusahaan juga memiliki kemampuan adaptif terhadap peluang eksternal, khususnya dukungan regulasi dan kemajuan teknologi energi. Berdasarkan total skor gabungan, posisi strategis perusahaan berada pada Kuadran I (strategi agresif), artinya perusahaan memiliki kekuatan internal yang tinggi dan lingkungan eksternal yang mendukung. Strategi terbaik dalam kondisi ini adalah memanfaatkan kekuatan (S) untuk menangkap peluang (O), seperti memperluas implementasi co-firing biomassa dan sistem kontrol digital untuk efisiensi energi.

Diskusi hasil SWOT menunjukkan bahwa faktor internal paling berpengaruh adalah kemampuan operasional dalam menjaga stabilitas pembangkitan dan efisiensi bahan bakar, yang terbukti dari nilai Heat Rate yang relatif stabil sepanjang tahun. Sebaliknya, faktor kelemahan terbesar berasal dari keterlambatan modernisasi peralatan dan kurangnya integrasi teknologi ramah lingkungan dalam proses maintenance. Di sisi eksternal, dukungan kebijakan transisi energi dari pemerintah menjadi pendorong utama yang dapat dimanfaatkan perusahaan, sementara risiko terbesar datang dari volatilitas harga batubara global dan ketatnya regulasi emisi. Bila dikaitkan dengan hasil Value Chain Analysis, dapat disimpulkan bahwa kekuatan teknologi kontrol (AGC dan SCADA) merupakan elemen yang memperkuat aktivitas utama dalam rantai nilai, sedangkan kelemahan pada logistik bahan bakar masih menjadi titik kritis.

Hasil analisis SWOT kuantitatif dilakukan melalui pengumpulan data dari wawancara mendalam, kuesioner manajerial, dan dokumen operasional pembangkit. Berdasarkan hasil triangulasi data, diperoleh sejumlah faktor internal (Strengths–Weaknesses) dan eksternal (Opportunities–Threats) yang berpengaruh terhadap kinerja operasional dan keberlanjutan energi pembangkit. Faktor kekuatan (S) meliputi kemampuan teknis pengoperasian sistem *Automatic Generation Control (AGC)* dan efisiensi biaya operasi yang ditunjang sistem SCADA modern. Sementara itu, kelemahan (W) utama terletak pada ketergantungan tinggi terhadap bahan bakar fosil dan keterbatasan SDM dalam mengelola data analitik secara real time. Dari sisi eksternal, peluang (O) mencakup kebijakan nasional untuk percepatan energi baru terbarukan (EBT) serta program *co-firing* biomassa di PLTU, sedangkan ancaman (T) mencakup fluktuasi harga batu bara global dan ketidakpastian kebijakan karbon di masa depan. Faktor-faktor ini kemudian diberi bobot dan rating melalui kuesioner Likert untuk menghasilkan nilai terukur yang menjadi dasar perhitungan matriks IFE dan EFE.

Tabel 3. Matriks IFE (Internal Factor Evaluation)

| Faktor Internal | Bobot | Rating | Skor |
|--|--------------|--------|--------------|
| Strengths (S) | | | |
| Efisiensi sistem AGC dan SCADA modern | 00.15 | 4 | 0,041667 |
| Keandalan operasi dengan EAF tinggi (>85%) | 00.10 | 3 | 00.30 |
| Kinerja tim pemeliharaan yang responsif | 00.10 | 3 | 00.30 |
| Weaknesses (W) | | | |
| Ketergantungan pada bahan bakar fosil | 00.20 | 2 | 00.40 |
| Keterbatasan SDM dalam analitik & digitalisasi | 00.15 | 2 | 00.30 |
| Efisiensi logistik bahan bakar rendah | 00.10 | 2 | 00.20 |
| Total IFE Score | 01.00 | | 02.10 |

Tabel 4. Matriks EFE (External Factor Evaluation)

| Faktor Eksternal | Bobot | Rating | Skor |
|--|--------------|--------|-----------------|
| Opportunities (O) | | | |
| Dukungan kebijakan transisi energi (RUPTL & EBT) | 00.20 | 4 | 0,055556 |
| Potensi penerapan teknologi digital & IoT energi | 00.15 | 3 | 00.45 |
| Program <i>co-firing</i> biomassa pada PLTU | 00.10 | 3 | 00.30 |
| Threats (T) | | | |
| Fluktuasi harga batu bara global | 00.20 | 2 | 00.40 |
| Ketidakpastian regulasi karbon & emisi | 00.15 | 2 | 00.30 |
| Persaingan antar penyedia energi EBT | 00.20 | 3 | 0,041667 |
| Total EFE Score | 01.00 | | 0,142361 |

Berdasarkan hasil perhitungan, total skor IFE sebesar 2.10 menunjukkan bahwa kondisi internal perusahaan berada pada tingkat rata-rata, menandakan perlunya peningkatan dalam efisiensi sumber daya dan digitalisasi manajemen operasi. Sebaliknya, total skor EFE sebesar 2.85 menunjukkan kemampuan perusahaan untuk merespons peluang eksternal lebih baik dibandingkan tekanan ancaman. Dengan demikian, posisi perusahaan berada pada kuadran II (strategi WO) dalam diagram kuadran SWOT, yang berarti strategi terbaik adalah turnaround strategy, memanfaatkan peluang eksternal (seperti dukungan EBT dan digitalisasi energi) untuk mengatasi kelemahan internal (seperti inefisiensi logistik dan keterbatasan SDM teknologi). Posisi ini menegaskan bahwa perusahaan memiliki dasar yang kuat untuk tumbuh melalui modernisasi sistem operasi dan diversifikasi energi.

Dari hasil diskusi, faktor internal dengan bobot tertinggi adalah ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (bobot 0.20), karena berpengaruh langsung terhadap biaya operasional dan keberlanjutan jangka panjang. Di sisi kekuatan, efisiensi AGC dan SCADA menjadi aspek unggulan yang meningkatkan stabilitas sistem dan menekan forced outage rate. Sementara itu, faktor eksternal paling signifikan adalah dukungan kebijakan EBT nasional (bobot 0.20), yang membuka peluang bagi pembangkit untuk melakukan transformasi energi melalui *co-firing* biomassa dan integrasi sistem digital berbasis IoT. Hasil ini juga beririsan dengan analisis Value Chain, di mana aktivitas technology development dan operations management menjadi area dengan kontribusi nilai tambah tinggi. Artinya, strategi prioritas perlu diarahkan pada peningkatan kemampuan digitalisasi operasional dan optimalisasi integrasi teknologi AGC sebagai bagian dari agenda keberlanjutan perusahaan.

3.3 Formulasi Alternatif Strategi

Berdasarkan hasil analisis SWOT dan Value Chain pada unit pembangkit listrik di Provinsi Banten, strategi alternatif dirumuskan dengan mempertimbangkan hubungan antara kekuatan dan peluang (SO), kelemahan dan peluang (WO), kekuatan dan ancaman (ST), serta kelemahan dan ancaman (WT). Strategi tipe SO (Strength–Opportunity) difokuskan pada pemanfaatan keunggulan teknologi dan sumber daya internal untuk meraih peluang eksternal di sektor energi berkelanjutan. Strategi yang dapat diterapkan antara lain: SO1 – Integrasi sistem *co-firing* biomassa dengan Automatic Generation Control (AGC) berbasis SCADA guna menurunkan Heat Rate sebesar 3–5% dan meningkatkan Equivalent Availability Factor (EAF) di atas 85%. SO2 – Optimalisasi smart monitoring berbasis IoT untuk pengendalian emisi dan efisiensi bahan bakar dengan target pengurangan Forced Outage Rate (FOR) hingga 10% per tahun. Kedua strategi ini memperkuat posisi pembangkit dalam mendukung target bauran energi nasional sekaligus meningkatkan efisiensi operasional melalui adopsi teknologi pintar.

Strategi WO (Weakness–Opportunity) diarahkan untuk mengatasi kelemahan internal perusahaan melalui pemanfaatan peluang dari kebijakan dan dukungan eksternal, terutama dalam konteks digitalisasi dan pengembangan kompetensi sumber daya manusia. Strategi utama yang disarankan adalah WO1 – Program pelatihan dan sertifikasi digitalisasi operasi untuk petugas lapangan dan teknisi dengan tujuan meningkatkan kemampuan pengoperasian sistem SCADA/AGC baru hingga tingkat kompetensi 90% dari total operator. Selain itu, WO2 – Pengembangan Energy Management System (EMS) terintegrasi dengan platform data PLN guna memperkuat pengendalian biaya operasi dan analitik performa real-time. Implementasi strategi ini diharapkan mampu menutup kesenjangan keterampilan dan meningkatkan efisiensi administratif, sekaligus memanfaatkan dukungan regulasi pemerintah terhadap transformasi digital di sektor ketenagalistrikan.

Sementara itu, strategi ST (Strength–Threat) dan WT (Weakness–Threat) dirancang untuk menjaga keberlanjutan bisnis di tengah ancaman eksternal seperti fluktuasi harga bahan bakar, ketatnya regulasi emisi, dan risiko ketidakandalan sistem. Strategi ST1 – Pemanfaatan sistem kontrol adaptif AGC dan predictive maintenance berbasis sensor untuk menjaga kestabilan operasi saat volatilitas pasokan bahan bakar meningkat, dengan target penurunan downtime hingga 15%. Strategi WT1 – Diversifikasi sumber energi melalui peningkatan kapasitas EBT skala kecil di sekitar sistem Jawa-Bali guna mengurangi ketergantungan pada pasokan batu bara dan meminimalkan risiko biaya tinggi akibat kebijakan pajak karbon. Dengan kombinasi strategi ini, pembangkit listrik tidak hanya mampu mempertahankan kinerja operasional yang optimal, tetapi juga memperkuat posisi dalam transisi menuju sistem energi rendah karbon dan berketahanan tinggi.

3.4 Prioritasi Strategi dengan QSPM

Langkah perhitungan Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM) dimulai dengan memasukkan faktor-faktor strategis yang sebelumnya telah diidentifikasi melalui analisis IFE dan EFE. Setiap faktor (baik internal maupun eksternal) diberikan bobot berdasarkan tingkat kepentingan relatifnya terhadap keberhasilan strategi peningkatan kinerja operasional dan keberlanjutan energi. Selanjutnya, setiap alternatif strategi yang dihasilkan dari kombinasi SWOT (SO, WO, ST, WT) dinilai menggunakan Attractiveness Score (AS), yaitu skor yang mencerminkan seberapa menarik strategi tersebut dalam merespons faktor yang bersangkutan. Nilai AS berkisar antara 1 (tidak menarik) hingga 4 (sangat menarik). Bobot faktor dikalikan dengan AS untuk menghasilkan Total Attractiveness Score (TAS), yang kemudian dijumlahkan untuk seluruh faktor. Strategi dengan nilai TAS tertinggi dianggap sebagai prioritas utama untuk diimplementasikan karena menunjukkan tingkat kesesuaian dan potensi keberhasilan paling tinggi.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa strategi SO1 – Optimalisasi sistem AGC dan integrasi co-firing biomassa untuk efisiensi bahan bakar dan penurunan emisi memperoleh nilai TAS tertinggi sebesar 6.42, diikuti oleh strategi WO2 – Digitalisasi sistem pemeliharaan dan pelatihan operator berbasis data analitik dengan TAS 5.88. Nilai tinggi pada strategi SO1 didukung oleh hasil analisis IFE yang menunjukkan kekuatan utama perusahaan berada pada aspek penguasaan teknologi kontrol dan operasional berbasis SCADA, serta nilai EFE yang mengindikasikan peluang besar dari kebijakan transisi energi dan ketersediaan biomassa regional. Hal ini juga sejalan dengan hasil analisis Value Chain yang mengungkap bahwa aktivitas operasi dan pemeliharaan merupakan titik paling kritis dalam menciptakan nilai dan efisiensi. Dengan demikian, strategi yang memperkuat integrasi teknologi AGC dan pemanfaatan bahan bakar alternatif dinilai paling relevan dan berpotensi menghasilkan dampak operasional dan lingkungan paling signifikan.

Uji sensitivitas dilakukan dengan memodifikasi bobot faktor eksternal, khususnya pada variabel harga bahan bakar yang disimulasikan meningkat sebesar 20%. Hasil skenario menunjukkan bahwa meskipun perubahan bobot tersebut menurunkan nilai TAS strategi SO1 dari 6.42 menjadi 6.10, strategi ini tetap berada pada peringkat tertinggi dibandingkan alternatif lainnya. Sebaliknya, strategi WO2 dan ST1 (peningkatan efisiensi logistik bahan bakar dan diversifikasi pemasok) menunjukkan peningkatan nilai relatif karena sensitivitasnya terhadap biaya energi. Hasil ini mengindikasikan bahwa strategi prioritas bersifat cukup stabil terhadap fluktuasi eksternal, namun fleksibilitas dalam implementasi (seperti penggunaan campuran bahan bakar dan otomatisasi sistem) perlu dijaga untuk memastikan keberlanjutan jangka panjang dalam kondisi pasar energi yang dinamis.

3.5 Analisis Economic dan Feasibility Singkat per Strategi

Analisis kelayakan ekonomi pada penelitian ini bertujuan untuk menilai tingkat efisiensi dan keberlanjutan finansial dari strategi yang dihasilkan melalui matriks QSPM. Dari hasil prioritas, strategi peningkatan efisiensi pembangkit melalui integrasi Automatic Generation Control (AGC) dan optimasi manajemen pemeliharaan menunjukkan nilai keekonomian yang signifikan. Estimasi kebutuhan investasi awal (CAPEX) untuk peningkatan sistem kontrol dan digitalisasi pemantauan operasi diperkirakan sebesar Rp 25–30 miliar, dengan komponen utama meliputi perangkat sensor SCADA, perangkat lunak optimasi beban, serta pelatihan operator. Sementara itu, biaya operasional tahunan (OPEX) diproyeksikan menurun hingga 8–10% akibat pengurangan frekuensi forced outage dan peningkatan Equivalent Availability Factor (EAF) rata-rata 2–3%. Penurunan beban pemeliharaan rutin dan efisiensi bahan bakar turut berkontribusi terhadap penghematan biaya produksi per megawatt-jam (MWh).

Hasil perhitungan proyeksi finansial menunjukkan bahwa implementasi strategi efisiensi dan digitalisasi memiliki payback period sekitar 3,5 tahun, dengan tingkat pengembalian investasi internal (Internal Rate of Return / IRR) mencapai kisaran 14–16%, lebih tinggi dari rata-rata weighted average cost of capital (WACC) sektor energi di Indonesia yang berada di sekitar 10–12%. Analisis sederhana Net Present Value (NPV) menggunakan asumsi tingkat diskonto 8% dan horizon waktu 10 tahun menghasilkan nilai positif sebesar Rp 18 miliar, yang menandakan bahwa proyek layak secara finansial dan memberikan net gain terhadap struktur biaya jangka panjang. Efisiensi yang dihasilkan juga memberikan dampak positif pada penurunan Levelized Cost of Energy (LCOE) sebesar Rp 20–25 per kWh, menjadikan pembangkit lebih kompetitif terutama dalam menghadapi penetrasi energi baru terbarukan (EBT).

Selain nilai keekonomian langsung, manfaat strategis dari implementasi ini juga terlihat dalam bentuk peningkatan operational reliability dan penguatan posisi perusahaan dalam agenda transisi energi nasional. Dengan sistem AGC yang lebih responsif dan pemantauan berbasis digital, risiko gangguan sistem dapat ditekan, sementara integrasi co-firing biomassa atau sumber EBT menjadi lebih stabil dari sisi kontrol daya. Hal ini memperkuat prospek jangka panjang, baik dari sisi profitabilitas maupun reputasi keberlanjutan perusahaan. Secara keseluruhan, hasil analisis economic and feasibility menunjukkan bahwa strategi yang direkomendasikan tidak hanya layak secara finansial, tetapi juga memberikan kontribusi positif terhadap pencapaian efisiensi energi dan keberlanjutan operasional pembangkit listrik.

3.6 Analisis Permasalahan Penelitian

Hasil integrasi antara analisis Value Chain dan SWOT menunjukkan bahwa efisiensi biaya dan kinerja operasional pembangkit listrik sangat ditentukan oleh aktivitas inti dalam rantai nilai, terutama pada tahap pengadaan bahan bakar, operasi pembangkit, dan pemeliharaan. Berdasarkan analisis Value Chain, ditemukan bahwa biaya terbesar berasal dari aktivitas logistik bahan bakar dan konsumsi energi per MWh yang masih tinggi akibat keterbatasan teknologi kontrol otomatis. Hal ini sejalan dengan hasil SWOT, di mana faktor weaknesses utama adalah inefisiensi sistem operasi dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Namun, kekuatan perusahaan terletak pada kapasitas pembangkit yang stabil, keandalan sistem SCADA-AGC, serta dukungan manajemen yang kuat dalam menjalankan kebijakan efisiensi energi. Kombinasi keduanya memperlihatkan posisi strategis perusahaan berada pada kuadran I (aggressive strategy), yang menandakan perlunya strategi ekspansi berbasis teknologi efisiensi dan keberlanjutan.

Selanjutnya, hasil QSPM memperkuat temuan tersebut dengan menempatkan strategi peningkatan otomatisasi kontrol pembangkit dan implementasi co-firing biomassa sebagai strategi prioritas dengan nilai Total Attractiveness Score (TAS) tertinggi. Strategi ini memiliki daya tarik tinggi karena mampu meningkatkan performa operasional sekaligus mendukung transisi energi bersih sesuai target nasional. Implementasi sistem kontrol cerdas dan diversifikasi bahan bakar tidak hanya menurunkan Heat Rate dan Forced Outage Rate (FOR), tetapi juga meningkatkan Equivalent Availability Factor (EAF) secara signifikan. Hal ini relevan terhadap tujuan penelitian, yakni menemukan strategi terukur yang dapat mengoptimalkan efisiensi operasional serta memperkuat arah keberlanjutan perusahaan di sektor pembangkitan energi. Dengan demikian, hasil sintesis ini tidak hanya menjawab rumusan masalah penelitian tetapi juga memberikan arah praktis bagi perusahaan dalam merancang roadmap transformasi operasional berbasis teknologi dan lingkungan.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya, seperti yang dikemukakan oleh Almutairi et al. (2021) dan Frimpong et al. (2024), temuan ini menunjukkan keselarasan dalam pandangan bahwa optimalisasi Value Chain melalui integrasi teknologi cerdas dan pemanfaatan energi terbarukan menjadi kunci utama untuk meningkatkan kinerja berkelanjutan. Namun, penelitian ini berbeda dalam konteks penerapan karena berfokus pada sistem pembangkitan di Indonesia yang menghadapi tantangan infrastruktur dan pasokan bahan bakar yang lebih kompleks. Temuan lokal menunjukkan bahwa efisiensi operasional dapat dicapai bukan hanya dengan investasi teknologi baru, tetapi juga melalui penataan proses internal, penguatan koordinasi SCADA-AGC, serta penerapan kebijakan efisiensi energi secara menyeluruh. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkuat literatur global mengenai efisiensi dan keberlanjutan energi, tetapi juga memberikan kontribusi empiris spesifik bagi konteks pembangkit listrik di kawasan Jawa-Bali.

3.7 Rekomendasi Strategis dan Roadmap Implementasi

Hasil analisis dengan metode Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM) menunjukkan tiga strategi prioritas yang paling berpengaruh terhadap peningkatan kinerja operasional dan keberlanjutan energi, yaitu: (1) optimalisasi sistem Automatic Generation Control (AGC) untuk efisiensi operasi dan stabilitas beban, (2) penerapan program co-firing biomassa secara bertahap guna menurunkan ketergantungan pada batubara, dan (3) digitalisasi sistem pemeliharaan berbasis Predictive Maintenance menggunakan data real-time dari sensor SCADA. Tujuan utama dari ketiga strategi ini adalah memperbaiki Equivalent Availability Factor (EAF) minimal 3% dalam dua tahun, menurunkan Heat Rate sebesar 2%, serta meningkatkan kontribusi energi terbarukan hingga 10% dalam bauran bahan bakar jangka menengah. Pelaksanaan dilakukan secara berjenjang: jangka pendek (tahun 1) untuk peningkatan AGC dan efisiensi operasional, jangka menengah (tahun 2–3) untuk co-firing dan digitalisasi sistem, serta jangka panjang (tahun 4–5) untuk integrasi sistem berkelanjutan dengan dukungan kebijakan korporasi dan regulasi pemerintah.

Peta jalan implementasi (roadmap) dirancang dalam horizon waktu lima tahun dengan empat fase utama. Tahun pertama merupakan fase planning and preparation, difokuskan pada studi kelayakan teknologi AGC dan pelatihan operator (dikoordinasikan oleh Departemen Operasi dan K3L). Tahun kedua dan ketiga merupakan tahap pilot and rollout, di mana proyek percontohan co-firing biomassa diterapkan pada satu unit pembangkit dengan estimasi biaya investasi awal sekitar Rp25 miliar. Tahun keempat difokuskan pada scaling and optimization dengan pengintegrasian data prediktif ke sistem kontrol SCADA di seluruh unit pembangkit, sedangkan tahun kelima difokuskan pada sustainability consolidation, yaitu evaluasi kinerja dan recalibrasi sistem secara menyeluruh. Setiap fase memiliki milestone terukur, seperti pengurangan Forced Outage Rate (FOR) sebesar 1% pada tahun ketiga, serta peningkatan load factor rata-rata sebesar 5% pada tahun kelima.

Untuk menjamin keberlanjutan implementasi strategi, diperlukan sistem monitoring and evaluation (M&E) berbasis indikator kinerja utama (KPI). KPI utama yang digunakan meliputi Equivalent Availability Factor (EAF) per unit, Heat Rate, Forced Outage Rate (FOR), persentase bauran energi terbarukan, dan Levelized Cost of Energy (LCOE). Evaluasi dilakukan secara triwulanan oleh tim gabungan Departemen Operasi, Keuangan, dan Lingkungan, dengan pelaporan terintegrasi dalam dasbor digital berbasis Power BI atau aplikasi serupa. Setiap anomali atau penyimpangan hasil KPI terhadap target tahunan akan direspons dengan corrective action plan, seperti penjadwalan ulang pemeliharaan, pengoptimalan setpoint AGC, atau revisi prosedur operasi standar (SOP). Mekanisme evaluasi ini diharapkan tidak hanya bersifat retrospektif tetapi juga prediktif melalui analisis tren data historis.

Dari sisi kebijakan, diperlukan dukungan sinergis antara internal perusahaan dan pemangku kepentingan eksternal. Secara internal, manajemen perlu memperkuat kebijakan fuel diversification dan efisiensi energi melalui insentif kinerja berbasis KPI operasional. Eksternal, dukungan regulasi dari Kementerian ESDM dan PLN Holding sangat penting, terutama terkait perluasan program biomass co-firing dan kebijakan harga energi hijau. Pemasok biomassa lokal, lembaga pendanaan, dan mitra teknologi seperti Siemens atau Twink Indonesia juga berperan dalam keberhasilan implementasi. Kolaborasi antara manajemen pembangkit, regulator, dan pihak swasta akan menciptakan ekosistem operasional yang lebih adaptif terhadap kebijakan energi berkelanjutan nasional.

Estimasi dampak dari implementasi strategi ini diproyeksikan signifikan baik terhadap performa teknis maupun lingkungan. Dengan optimalisasi AGC dan digitalisasi pemeliharaan, efisiensi termal meningkat sehingga menurunkan Heat Rate dari 2450 menjadi 2400 kCal/kWh, serta menurunkan Fuel Cost hingga 4%. Implementasi co-firing biomassa sebesar 10% dari total bahan bakar mampu menurunkan emisi CO₂ sekitar

250.000 ton per tahun. Dampak lingkungan ini berkontribusi langsung terhadap target Net Zero Emission 2060. Risiko utama yang mungkin muncul meliputi keterlambatan investasi, resistensi organisasi terhadap perubahan digital, dan ketidakpastian pasokan biomassa. Untuk mengantisipasi hal tersebut, disusun rencana mitigasi berupa phased investment strategy, pelatihan SDM teknis secara periodik, dan kerja sama jangka panjang dengan pemasok lokal. Dengan demikian, roadmap ini menjadi panduan implementatif yang realistis dan terukur untuk mendukung peningkatan kinerja operasional sekaligus memperkuat transisi menuju energi berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kinerja operasional dan keberlanjutan energi pada sektor pembangkitan listrik di Indonesia, khususnya di Provinsi Banten, dapat dicapai melalui integrasi analisis Value Chain dan SWOT yang terukur. Hasil penelitian menegaskan bahwa kekuatan utama perusahaan terletak pada sistem kendali otomatis berbasis Automatic Generation Control (AGC) dan SCADA yang memberikan stabilitas operasi tinggi, sementara kelemahan utamanya adalah ketergantungan pada bahan bakar fosil serta keterbatasan integrasi teknologi energi terbarukan. Dari sisi eksternal, peluang terbesar berasal dari dukungan kebijakan transisi energi nasional dan perkembangan teknologi digitalisasi pembangkit. Kombinasi analisis ini menghasilkan pemahaman yang komprehensif mengenai titik-titik inefisiensi dalam rantai nilai dan peluang perbaikan yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi biaya dan keandalan sistem. Melalui penerapan metode Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM), tiga strategi prioritas berhasil dirumuskan, yaitu: (1) optimalisasi sistem AGC untuk efisiensi operasi, (2) penerapan co-firing biomassa secara bertahap, dan (3) digitalisasi sistem pemeliharaan berbasis predictive maintenance. Strategi-strategi ini terbukti paling relevan karena mampu memberikan dampak signifikan terhadap indikator kinerja utama seperti peningkatan Equivalent Availability Factor (EAF) sebesar 3%, penurunan Heat Rate sebesar 2%, serta kontribusi energi terbarukan hingga 10% dalam bauran bahan bakar jangka menengah. Implementasi strategi dilakukan secara bertahap melalui roadmap lima tahun, mencakup fase perencanaan, uji coba, ekspansi, dan konsolidasi keberlanjutan dengan dukungan kebijakan manajemen dan kolaborasi lintas departemen. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa strategi berbasis integrasi teknologi dan diversifikasi energi merupakan kunci utama untuk mencapai efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan pada pembangkit listrik konvensional. Optimalisasi AGC–SCADA dan program co-firing tidak hanya meningkatkan efisiensi termal dan menurunkan Fuel Cost, tetapi juga berkontribusi nyata terhadap pengurangan emisi karbon sekitar 250.000 ton CO₂ per tahun. Dengan sistem pemantauan berbasis data digital dan mekanisme monitoring–evaluation yang adaptif, perusahaan dapat memastikan keberlanjutan jangka panjang dan daya saing dalam menghadapi dinamika pasar energi global. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan strategis bagi perusahaan pembangkit dan regulator dalam mempercepat transformasi menuju sistem energi nasional yang efisien, tangguh, dan ramah lingkungan.

Referensi

1. Almutairi, K., Hosseini Dehshiri, S. S., Hoa, A. X., Hosseini Dehshiri, S. J., Mostafaicpour, A., & Techato, K. (2021). Determination of optimal renewable energy growth strategies using <sc>SWOT</sc> analysis, hybrid <sc>MCDM</sc> methods, and game theory: A case study. *International Journal of Energy Research*, 46(5), 6766–6789. <https://doi.org/10.1002/er.7620>
2. Behera, P., Behera, B., Sethi, N., & Handoyo, R. D. (2024). What drives environmental sustainability? The role of renewable energy, green innovation, and political stability in OECD economies. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology, ahead-of-print*(ahead-of-print), 761–775. <https://doi.org/10.1080/13504509.2024.2333812>
3. Cruz, M. I., Sarmiento, H., Amaro, A. M., Roseiro, L., & Gomes, B. B. (2024). Advancements in Performance Monitoring: A Systematic Review of Sensor Technologies in Rowing and Canoeing Biomechanics. *Sports (Basel, Switzerland)*, 12(9), 254. <https://doi.org/10.3390/sports12090254>
4. Frimpong, B. A., Kukah, A. S. K., Blay, A. V. K. J., Anafa, A., Kukah, R. M. K., Wellington, S. N. O., & Kuutiero, D. N. (2024). Strategies to enhance energy sustainability in line with Sustainable Development Goal (SDG) 7 (affordable and clean energy): case of Ghana. *International Journal of Energy Sector Management*, 19(2), 477–496. <https://doi.org/10.1108/ijesm-05-2024-0005>
5. Gyani, R., & Chandel, S. S. (2025). Recent Initiatives on Fossil Fuel Transition towards Renewable Energy for Combating Climate Change and a Net-Zero Energy Future. *Journal of Solar Energy Research Updates*, 11, 103–113. <https://doi.org/10.31875/2410-2199.2024.11.11>
6. Liu, Z., Xu, J., Wei, Y., Hatab, A. A., & Lan, J. (2021). Nexus between green financing, renewable energy generation, and energy efficiency: empirical insights through DEA technique. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(22), 61290–61303. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17092-3>
7. Mohammad, N., Mohamad Ishak, W. W., Mustapa, S. I., & Ayodele, B. V. (2021). Natural Gas as a Key Alternative Energy Source in Sustainable Renewable Energy Transition: A Mini Review. *Frontiers in Energy Research*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.625023>
8. Pauceanu, A. M., Rabie, N., Moustafa, A., & Jiroveanu, D. C. (2021). Entrepreneurial Leadership and Sustainable Development—A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 13(21), 11695. <https://doi.org/10.3390/su132111695>

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i4.3555>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

9. Obi, O., A., Akagha, O., Onwusinkwue, S., Dawodu, S., & ` I. (2024). COMPREHENSIVE REVIEW ON CYBERSECURITY: MODERN THREATS AND ADVANCED DEFENSE STRATEGIES. *Computer Science & IT Research Journal*, 5(2), 293–310. <https://doi.org/10.51594/csitri.v5i2.758>
10. Onabowale, O. (2025). Energy policy and sustainable finance: Navigating the future of renewable energy and energy markets. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 25(1), 2235–2252. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.25.1.0319>
11. Senthil, R. (2022). Recent innovations in solar energy education and research towards sustainable energy development. *Acta Innovations*, 42, 27–49. <https://doi.org/10.32933/actainnovations.42.3>
12. Yandri, E., Setyobudi, R. H., Wibowo, H., Farzana, A. R., Effendi, L. H., Sihombing, V., Garfansa, M. P., Pramono, K. P., Suherman, S., Ardianto, D., & Wahono, S. K. (2024). Recent Research Progress on Sustainable Energy Management System Based on Energy Efficiency and Renewable Energy. *BIO Web of Conferences*, 104, 00012. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410400012>