JURNAL LOCUS: Penelitian & Pengabdian
Volume 5 No. 9 September 2026
E-ISSN 2829-7334| P-ISSN 2829-5439
Hompage: https://locus.rivierapublishing.id/index.php/jl

Prioritisasi Lokasi Program Dedieselisasi Pembangkit Listrik di Maluku dan Maluku Utara Menggunakan Fuzzy Ahp-Topsis dengan Analisis Pareto Frontier

David Masalle Bua*, Mahendrawathi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia
Email: davidmasalle@gmail.com*

Keywords:
De-dieselization; Energy Transition; Fuzzy AHP-TOPSIS; Pareto Frontier.

Abstract
This study aims to develop an optimal investment roadmap for converting Diesel Power Plants to renewable energy (dedieselization) in Maluku and North Maluku by integrating financial, technical-operational, and environmental dimensions, so that location priorities are determined objectively and balance the efficiency of the network investment budget with the impact of emission reductions. The evaluation covers 156 PLTD locations in the Solar Power Plant development scheme by private electricity producers, assessed through six sub-criteria. The hybrid approach combines the Fuzzy Analytic Hierarchy Process for weighting criteria based on five experts' preferences, the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution to calculate multi-criteria preference scores, and then a dual Pareto Frontier analysis to map efficient solutions from the perspective of network budget and emission reduction. The weighting places carbon emissions and the cost of supply as the most dominant factors. The dual Pareto synthesis classifies all locations into three investment phases. Phase 1 (Quick Wins) is occupied solely by the Olong PLTD, which drives 4.53 percent of the total emission reduction potential with only 0.58 percent of the network investment requirement. Phase 2 (Strategic) comprises six locations: Kobisonta Diesel Power Plant, SW Weda Diesel Power Plant, Moa Diesel Power Plant, Saparua Diesel Power Plant, Umiyal Diesel Power Plant, and Gala Island Diesel Power Plant. The remaining 149 locations are mapped to Phase 3 (Long-Term), which will be implemented in stages depending on funding availability. This priority structure has proven robust to variations in criteria weights. The research's primary contribution is a multi-criteria decision model that filters out non-dominant solutions to balance budget efficiency and climate impacts in a phased manner.

Kata Kunci:
Dedieselisasi; Fuzzy AHP-TOPSIS; Pareto Frontier; Transisi Energi.

Abstrak
Penelitian ini bertujuan menyusun peta jalan tahapan investasi konversi Pembangkit Listrik Tenaga Diesel ke energi terbarukan (dedieselisasi) yang optimal di Maluku dan Maluku Utara dengan mengintegrasikan dimensi finansial, teknis-operasional, dan lingkungan, sehingga prioritas lokasi ditetapkan secara objektif dan menyeimbangkan efisiensi anggaran investasi jaringan dengan dampak pengurangan emisi. Evaluasi mencakup 156 lokasi PLTD pada skema pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya oleh produsen listrik swasta, dinilai melalui enam sub-kriteria. Pendekatan hibrida memadukan Fuzzy Analytic Hierarchy Process untuk pembobotan kriteria berbasis preferensi lima pakar, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution untuk menghitung skor preferensi multikriteria, kemudian analisis dual Pareto Frontier untuk memetakan solusi efisien dari perspektif anggaran jaringan dan reduksi emisi. Pembobotan menempatkan emisi karbon dan biaya pokok penyediaan sebagai faktor paling dominan. Sintesis dual

Pareto mengklasifikasikan seluruh lokasi ke dalam tiga fase investasi. Fase 1 (Quick Wins) ditempati tunggal oleh PLTD Olong, yang menggerakkan 4,53 persen total potensi reduksi emisi hanya dengan 0,58 persen kebutuhan investasi jaringan. Fase 2 (Strategis) beranggotakan enam lokasi, yaitu PLTD Kobisonta, PLTD SW Weda, PLTD Moa, PLTD Saparua, PLTD Umiyal, dan PLTD Pulau Gala, sedangkan 149 lokasi lainnya dipetakan ke Fase 3 (Jangka Panjang) yang dieksekusi bertahap sesuai ketersediaan pembiayaan. Struktur prioritas ini terbukti robust terhadap variasi bobot kriteria. Kontribusi utama penelitian adalah model keputusan multikriteria yang menyaring solusi non-dominan untuk menyeimbangkan efisiensi anggaran dan dampak iklim secara bertahap.

PENDAHULUAN

Fenomena perubahan iklim global telah mendorong percepatan transisi energi di berbagai negara sebagai upaya menekan emisi karbon dan membatasi kenaikan suhu bumi di bawah 1,5°C. Sejalan dengan komitmen Paris Agreement yang secara resmi diadopsi oleh 195 negara pada Konferensi Perubahan Iklim PBB (COP21) di Paris pada 12 Desember 2015, tren global menunjukkan pergeseran signifikan dari energi fosil menuju energi terbarukan (The Paris Agreement, 2015). International Energy Agency mencatat peningkatan investasi energi bersih dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai salah satu teknologi yang paling kompetitif secara ekonomi, di mana investasi global pada PLTS pada tahun 2023 melampaui seluruh teknologi pembangkitan listrik lainnya secara gabungan (IEA, 2023). Dalam konteks nasional, Indonesia telah menetapkan target Net Zero Emission (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat, serta bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 melalui Kebijakan Energi Nasional sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 (Pemerintah Republik Indonesia, 2014), yang kemudian diperbarui melalui Peraturan Pemerintah Nomor 40 Tahun 2025 tentang Kebijakan Energi Nasional dengan menargetkan kontribusi energi baru dan terbarukan mencapai 70-72% pada tahun 2060 (Pemerintah Republik Indonesia, 2025). Komitmen ini diperkuat melalui Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025-2034 yang menempatkan energi baru terbarukan sebagai prioritas utama pengembangan sistem ketenagalistrikan, dengan porsi 76% dari total tambahan kapasitas 69,5 GW dialokasikan bagi energi baru terbarukan dan sistem penyimpanan energi (ESDM, 2026; PLN, 2025). Lebih lanjut, percepatan pemanfaatan energi terbarukan pada sektor ketenagalistrikan turut didukung oleh Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik (Perpres 112, 2022).

Namun demikian, implementasi transisi energi di Indonesia masih menghadapi tantangan signifikan, terutama pada wilayah kepulauan timur seperti Provinsi Maluku dan Maluku Utara. Sistem kelistrikan di wilayah ini masih sangat bergantung pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sebagai sumber utama penyediaan energi listrik. Berdasarkan data operasional PT PLN (Persero) Unit Induk Wilayah Maluku dan Maluku Utara, terdapat 156 lokasi PLTD isolated dengan total kapasitas 186,11 MW yang menjadi target program dedieselisasi sebagaimana ditunjukkan pada peta sebaran di Gambar 1.1 (PLN UIW MMU, 2025). Total konsumsi BBM tahunan dari seluruh 156 PLTD ini mencapai 134.829 kiloliter dengan emisi CO_2 sebesar 357.909 ton/tahun (PLN UIW MMU, 2025). Ketergantungan terhadap PLTD pada sistem terisolasi menimbulkan beban biaya operasional yang tinggi akibat harga bahan bakar minyak yang mahal, inefisiensi mesin yang telah berusia lanjut serta mahalnya biaya logistik transportasi bahan bakar minyak melalui jalur laut yang rentan terhadap cuaca ekstrem (Maulana, 2024). Kondisi ini menyebabkan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) listrik di wilayah tersebut menjadi sangat tinggi sekitar Rp 6.194/kWh (PLN UIW

MMU, 2025) sehingga memberikan tekanan finansial yang besar terhadap penyedia layanan kelistrikan.

Sebagai respons, pemerintah melalui PT PLN (Persero) menginisiasi program dedieselisasi nasional untuk mengonversi PLTD menjadi sistem hibrida PLTS dan Battery Energy Storage System (BESS) dengan skema Independent Power Producer (IPP), di mana IPP akan membangun PLTS+BESS dan PLN akan bertindak sebagai off taker. Program dedieselisasi ini merupakan bagian dari strategi penyediaan listrik PLN yang bergeser dari pembangkit berbasis energi fosil menuju energi baru terbarukan, terutama pada sistem terisolasi yang belum memungkinkan terhubung dengan jaringan utama (PLN, 2025). Urgensi program ini semakin dipertegas oleh arahan strategis pemerintah pada Maret 2026, yang menginstruksikan percepatan konversi di seluruh wilayah Indonesia di tengah ketidakpastian geopolitik global yang mengganggu pasokan dan harga minyak dunia (ESDM, 2026). Namun, dalam implementasinya, PLN menghadapi tantangan signifikan, terutama terkait keterbatasan anggaran investasi untuk pembangunan jaringan distribusi. Jaringan ini krusial untuk mengintegrasikan pembangkit IPP ke dalam sistem eksisting. Dengan total 156 lokasi PLTD yang tersebar di berbagai wilayah, serta kebutuhan mendesak untuk mengoptimalkan penghematan biaya operasional secara cepat dan berkelanjutan, diperlukan suatu mekanisme pengambilan keputusan yang objektif, terukur, dan komprehensif untuk menentukan prioritas lokasi konversi. Tantangan ini semakin kompleks karena penentuan prioritas lokasi dedieselisasi pada dasarnya merupakan masalah pengambilan keputusan multikriteria, di mana kriteria-kriteria yang relevan kerap saling bertentangan dan tidak dapat dioptimalkan secara bersamaan. PLN cenderung mengutamakan lokasi dengan kebutuhan investasi jaringan distribusi minimal, namun lokasi tersebut belum tentu merupakan PLTD dengan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) atau emisi CO_2 tertinggi yang paling mendesak untuk dikonversi. Di sisi lain, lokasi dengan potensi Irradiance tinggi yang ideal untuk PLTS justru kerap berada di daerah terpencil sehingga biaya investasi jaringannya mahal. Menghadapi ketidakselarasan kriteria inilah, pendekatan Multi-Criteria Decision Making (MCDM) menjadi relevan untuk mengintegrasikan preferensi multidimensi dan menemukan solusi kompromi yang optimal.

Metode Multi-Criteria Decision Making (MCDM) dengan logika Fuzzy telah berkembang pesat dalam perencanaan energi terbarukan. Kombinasi AHP dan Fuzzy TOPSIS terbukti efektif dalam mengevaluasi kelayakan lokasi PLTS dengan mempertimbangkan dimensi STEEP (Social, Technical, Economic, Environmental, and Policy and Regulatory) (Aswal et al., 2026), serta dalam pemilihan sumber energi terbarukan untuk smart grids di mana Fuzzy TOPSIS dengan Triangular Fuzzy Numbers terbukti lebih andal dibandingkan AHP dan TOPSIS klasik dalam menangani ketidakpastian penilaian pakar (Gao, 2025). Namun, metode MCDM konvensional yang hanya menghasilkan perangkingan linear belum mampu mengoptimalkan solusi ketika dihadapkan pada trade-off kompleks antar tujuan yang saling bertentangan. Penelitian lain menggunakan analisis Pareto Frontier untuk mengidentifikasi solusi non-dominated dan memetakan hubungan antar kriteria yang saling berkonflik. Dalam sistem energi, metode Pareto Frontier sangat efektif digunakan ketika biaya dan emisi memiliki hubungan yang saling bertolak belakang, dan analisis sensitivitas mengonfirmasi robustness (kekokohan) kurva optimal meskipun parameter tekno-ekonomi divariasikan (Giannelos et al., 2024). Selanjutnya, kerangka hybrid tiga tahap yang mengintegrasikan NSGA-II untuk menghasilkan solusi Pareto-optimal, K-Means Clustering untuk mengklasifikasikan solusi ke dalam tiga profil strategis, dan Pythagorean Fuzzy AHP untuk prioritisasi akhir terbukti menghasilkan profil investasi yang fleksibel sesuai prioritas pemangku kepentingan (Mizrak et al., 2025). Pendekatan ini sangat relevan dengan konteks dedieselisasi di wilayah kepulauan, sebab manajemen PLN tidak hanya menghadapi keterbatasan anggaran investasi jaringan, tetapi juga harus mempertimbangkan dampak transisi energi pada skala regional secara simultan (Davis, 1989). Namun demikian, aplikasi Pareto Frontier dalam prioritisasi lokasi

konversi pembangkit listrik diesel ke energi surya pada skala regional, terlebih dengan pendekatan dual perspective (perspektif ganda), masih sangat terbatas dalam literatur yang ada.

Penelitian ini bertujuan mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan model pengambilan keputusan terintegrasi yang menggabungkan Fuzzy AHP, TOPSIS, dan analisis dual Pareto Frontier untuk menghasilkan prioritas lokasi dedieselisasi yang efisien dalam alokasi anggaran dengan dampak transisi energi maksimal bagi PT PLN (Persero). Kebaruan utama penelitian ini terletak pada penggunaan dua Pareto Frontier paralel untuk memetakan trade-off skor preferensi multikriteria terhadap dua kriteria pembanding yang relevan secara strategis, yaitu kebutuhan investasi jaringan distribusi dan potensi pengurangan emisi CO_2, bukan hanya menggunakan perangkingan linear yang mengasumsikan solusi tertinggi selalu optimal (Aswal et al., 2026; Gao, 2025; Giannelos et al., 2024). Pendekatan dual Pareto dua dimensi dipilih karena visualisasinya lebih mudah dipahami, analisisnya lebih terfokus, dan mempermudah penyusunan rekomendasi strategis. Pada skala 156 lokasi PLTD dengan karakteristik geografis heterogen, pendekatan tersebut memungkinkan identifikasi klaster lokasi Quick Wins yang memberikan manfaat transisi maksimal dengan beban sumber daya paling efisien, sekaligus menyediakan rekomendasi alternatif ketika prioritas strategis bergeser antara efisiensi anggaran dan akselerasi pengurangan emisi.

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data yang terdiri dari data primer dan data sekunder yang digunakan untuk mendukung analisis dalam penentuan prioritas konversi PLTD menjadi PLTS. Penggunaan kedua jenis data ini bertujuan untuk memastikan bahwa proses evaluasi alternatif didasarkan pada informasi empiris yang akurat serta didukung oleh penilaian pakar yang memahami kondisi sistem kelistrikan di wilayah penelitian. Integrasi data kuantitatif dan pengetahuan praktis menjadi pendekatan yang relevan dalam penelitian pengambilan keputusan multikriteria karena mampu meningkatkan kualitas dan validitas hasil analisis. Dengan demikian, model yang dikembangkan tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga aplikatif sesuai dengan kondisi lapangan.

Data Primer

Data primer dalam penelitian ini diperoleh secara langsung dari responden yang memiliki kompetensi dan pengalaman dalam perencanaan serta pengelolaan sistem kelistrikan, khususnya terkait program dedieselisasi di wilayah PLN UIW MMU. Data primer berupa penilaian tingkat kepentingan relatif antar sub-kriteria yang dikumpulkan melalui kuesioner perbandingan berpasangan (pairwise comparison) untuk menentukan bobot relatif masing-masing sub-kriteria dalam proses evaluasi konversi PLTD ke sistem hibrida PLTS-BESS. Responden dalam penelitian ini berjumlah lima orang pakar yang dipilih berdasarkan kriteria pengalaman dalam perencanaan sistem kelistrikan, memahami karakteristik pembangkit diesel dan energi terbarukan, memahami aspek finansial serta terlibat dalam proses pengambilan keputusan di lingkungan PLN. Pemilihan jumlah 5 pakar didasarkan pada rekomendasi literatur FAHP yang menyatakan bahwa panel pakar dengan jumlah 5 hingga 15 orang telah memadai untuk menghasilkan penilaian yang representatif dalam konteks pengambilan keputusan strategis (Luhaniwal et al., 2025; Saaty, 1980).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengolahan data dan pembahasan temuan dari penerapan kerangka hibrida Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), dan analisis Pareto Frontier. Pemaparan disusun mengikuti tahapan metodologis pada Bab 3, yaitu deskripsi objek dan profil data, pembobotan kriteria, skor preferensi 156 lokasi, sintesis Pareto Frontier sebagai dasar tahapan

investasi, hingga implikasi manajerial bagi PT PLN (Persero) Unit Induk Wilayah Maluku dan Maluku Utara (UIW MMU).

Pembahasan Hasil Dual Pareto

Hasil dual Pareto Frontier pada subbab sebelumnya memerlukan interpretasi strategis yang akan disusun dalam dua sudut pandang. Pertama, mengenai trade-off antar dimensi strategis. Kehadiran PLTD SW Weda pada Kategori 3 memperlihatkan pola trade-off yang sangat informatif. PLTD SW Weda menempati Rank 4 pada peringkat CC_i dengan emisi tertinggi di seluruh wilayah sebesar 22.901 ton CO_2 per tahun, namun kebutuhan investasi jaringannya yang mencapai Rp 1,06 miliar membuatnya ter-dominasi oleh PLTD Olong pada dimensi efisiensi modal. Sebaliknya, PLTD Pulau Gala yang hanya berperingkat 65 dengan CC_i rendah 0,1132 tetap masuk kelompok strategis (Kategori 2) karena kebutuhan investasi jaringannya paling kecil di seluruh wilayah, yaitu Rp 103,63 juta, sehingga sangat efisien dari perspektif modal walaupun manfaat multikriteria-nya tergolong moderat.

Kedua, komparasi dengan pendekatan ranking linier. Salah satu argumen utama di balik penggunaan dual Pareto adalah bahwa pendekatan ranking linier berdasarkan CC_i semata berisiko menghasilkan rekomendasi yang kurang efisien dari sisi alokasi anggaran. Verifikasi empiris atas klaim ini dilakukan dengan membandingkan komposisi Top 10 CC_i pada Tabel 4.10 dengan anggota kelompok Pareto strategis (Kategori 1, 2, dan 3). Dari 10 lokasi peringkat CC_i teratas, hanya 3 lokasi yang juga masuk kelompok Pareto strategis, yaitu PLTD Olong (Rank 1), PLTD Kobisonta (Rank 3), dan PLTD SW Weda (Rank 4). Tujuh lokasi Top 10 lainnya, yaitu PLTD Piru (Rank 2), PLTD SW Sanana (Rank 5), PLTD SW Bula (Rank 6), PLTD SW Buli (Rank 7), PLTD SW Piru (Rank 8), PLTD Dofa (Rank 9), dan PLTD Bobong (Rank 10), justru ter-dominasi pada kedua perspektif Pareto. Sebaliknya, kelompok Pareto strategis memuat pula lokasi berperingkat lebih rendah seperti PLTD Moa (Rank 12), PLTD Saparua (Rank 15), PLTD Umiyal (Rank 23), dan PLTD Pulau Gala (Rank 65) yang akan terlewat bila hanya mengandalkan ranking linier. Temuan ini mengonfirmasi bahwa pendekatan dual Pareto memberi diferensiasi yang lebih kaya dan strategis dibanding ranking linier, sejalan dengan argumen Giannelos et al. (2024) bahwa Pareto Frontier mampu mengidentifikasi solusi non-dominasi yang menyeimbangkan dimensi yang saling berkonflik.

Diskusi Hasil Penelitian

Sub-bab ini menyatukan temuan dari pembobotan Fuzzy AHP, Skor CC_i TOPSIS, analisis Dual Pareto Frontier, dan uji sensitivitas menjadi satu interpretasi strategis yang utuh. Berbeda dari pembahasan pada sub-bab sebelumnya yang bersifat lokal pada masing-masing tahap, diskusi di sini diarahkan untuk membaca keterkaitan antar-metode, menjawab tiga rumusan masalah, serta menarik kontribusi teoritis dan implikasi praktisnya. Pembahasan disusun dalam tiga bagian, yaitu interpretasi temuan utama, kontribusi teoritis, dan implikasi praktis.

Interpretasi Temuan Utama

Dalam konteks strategi investasi PT PLN (Persero), istilah Quick Wins dimaknai sebagai kelompok lokasi yang memberikan dampak pengurangan emisi signifikan dengan kebutuhan investasi jaringan minimal, sehingga dapat dieksekusi segera pada 1 sampai 2 tahun awal program tanpa membebani anggaran. Dasar penentuannya bersifat formal, yaitu klasifikasi dominansi pada Persamaan (3.7) dan (3.8): suatu lokasi dikategorikan Quick Wins jika dan hanya jika berstatus non-dominated pada kurva Pareto Efisiensi Modal sekaligus kurva Pareto Dampak Iklim. Kelompok Strategis pada fase kedua menempati posisi antara, yaitu lokasi yang non-dominated pada tepat satu kurva namun terdominasi pada kurva lainnya. Lokasi Strategis Modal (Kategori 2) unggul pada perspektif efisiensi investasi sehingga rasional didahulukan ketika anggaran menjadi kendala yang mengikat, sedangkan lokasi Strategis Iklim (Kategori 3) unggul pada perspektif pengurangan emisi sehingga tepat diprioritaskan ketika target dekarbonisasi menjadi penggerak utama. Dengan demikian, prioritas fase kedua bersifat

kondisional terhadap konteks kebijakan dan fiskal tahun berjalan, bukan urutan yang kaku, dan dijadwalkan pada tahun ketiga sampai kelima. Adapun kelompok jangka panjang adalah lokasi yang terdominasi pada kedua perspektif, yang pelaksanaannya dijadwalkan mulai tahun keenam dan seterusnya secara bertahap mengikuti ketersediaan pembiayaan serta urutan skor CC_i.

Penamaan dan penahapan ini berpijak pada konsep short-term wins dalam teori manajemen perubahan, yang menyatakan bahwa keberhasilan awal yang cepat dan terlihat diperlukan untuk membangun momentum serta kredibilitas program transformasi jangka panjang (Kotter, 1996). Pola serupa diterapkan pada perencanaan retrofit energi, di mana strategi dikelompokkan menjadi tiga klaster berjenjang, yaitu klaster quick wins berbiaya rendah berdampak tinggi yang dieksekusi lebih dahulu, klaster berimbang (balanced solutions) yang pemilihannya menyesuaikan kapasitas anggaran dan siklus investasi infrastruktur, serta klaster berdampak besar untuk imbal hasil jangka panjang melalui phased investment strategy (Mizrak et al., 2025). Kondisionalitas fase kedua juga sejalan dengan praktik analisis skenario dalam perencanaan energi multikriteria, di mana urutan prioritas dapat bergeser mengikuti skenario penekanan biaya atau penekanan lingkungan yang berlaku (Jiao et al., 2026). Secara ekonomi, keseluruhan urutan ini konsisten dengan prinsip least-cost abatement yang memprioritaskan intervensi dengan biaya pengurangan emisi per ton terendah (Enkvist et al., 2007).

Temuan penelitian menegaskan bahwa prioritas konversi PLTD ke energi terbarukan tidak dapat ditetapkan dari satu indikator tunggal. Keenam sub-kriteria kerap saling bertentangan, termasuk Equivalent Availability Factor (EAF) yang dalam kerangka urgensi penelitian ini justru menempatkan keandalan eksisting yang rendah sebagai sinyal makin mendesaknya konversi. Konfigurasi bobot yang menempatkan Emisi CO_2 dan BPP PLTD sebagai dua faktor dominan (Sub-bab 4.2) berpadu dengan sebaran skor CC_i yang sangat menjulur ke kanan (Sub-bab 4.3), sehingga peringkat teratas dapat dikenali tegas namun perbedaan antar-lokasi pada lapisan menengah relatif tipis. Pola inilah yang menuntut dimensi pembanding tambahan agar keputusan investasi tidak semata bersandar pada urutan linier.

Nilai tambah pendekatan Dual Pareto Frontier tampak paling jelas ketika hasilnya dibandingkan dengan peringkat linier CC_i. Dari sepuluh lokasi dengan CC_i tertinggi, hanya tiga yang masuk kelompok Pareto strategis, yaitu PLTD Olong, PLTD Kobisonta, dan PLTD SW Weda, sedangkan tujuh lainnya terdominasi pada kedua perspektif. Sebaliknya, lokasi berperingkat rendah seperti PLTD Pulau Gala (peringkat 65, CC_i 0,1132) tetap teridentifikasi strategis karena kebutuhan investasi jaringannya terkecil di seluruh wilayah (Rp103,63 juta). Temuan ini membuktikan bahwa peringkat tertinggi tidak otomatis paling strategis, dan analisis dominansi memberi diferensiasi yang lebih kaya secara strategis dibanding ranking linier (Giannelos et al., 2024).

Sintesis kedua kurva juga memunculkan satu trade-off yang penting bagi pengambilan keputusan, yaitu PLTD SW Weda. Sebagai penyumbang emisi terbesar di seluruh wilayah (22.901 ton CO_2 per tahun), lokasi ini unggul pada perspektif dampak iklim, tetapi terdominasi pada perspektif efisiensi modal karena kebutuhan investasi jaringannya relatif besar (Rp1,06 miliar), sehingga terklasifikasi sebagai Strategis Iklim (Kategori 3) dan bukan Quick Wins. Kehadiran satu titik trade-off ini menunjukkan bahwa lokasi dengan potensi reduksi emisi tertinggi tidak otomatis paling efisien secara modal, sehingga memerlukan pertimbangan tersendiri dalam penjadwalan.

Keyakinan atas rekomendasi diperkuat oleh hasil uji sensitivitas pada bobot Emisi CO_2 (C6) sebagai sub-kriteria paling berpengaruh. Karena komposisi kelompok strategis tidak berubah sama sekali pada seluruh skenario ±5% maupun ±10% dan PLTD Olong konsisten menempati Fase 1, pengujian pada sub-kriteria yang paling dominan ini memberikan jaminan

bahwa pergeseran pada sub-kriteria lain yang berbobot lebih kecil tidak akan mengubah arah rekomendasi. Dengan demikian rekomendasi tahapan investasi dapat dinilai robust.

Ditinjau dari tiga rumusan masalah, hasil penelitian menjawabnya secara berurutan. Pertama, Fuzzy AHP berhasil menghasilkan bobot yang konsisten (seluruh CR jauh di bawah 0,10) sekaligus mengakomodasi ketidakpastian penilaian pakar. Kedua, TOPSIS menghasilkan skor preferensi CC_i bagi 156 lokasi sebagai dasar masukan yang terukur. Ketiga, Dual Pareto Frontier memetakan trade-off CC_i terhadap kebutuhan investasi jaringan dan potensi pengurangan emisi CO_2, lalu menerjemahkannya menjadi klasifikasi tiga fase investasi yang adaptif terhadap dinamika anggaran dan target iklim. Secara keseluruhan, Fuzzy AHP menetapkan bobot, TOPSIS menghasilkan skor prioritas, Dual Pareto Frontier membaca trade-off strategis, dan uji sensitivitas menguji kestabilannya.

Kontribusi Teoritis

Kontribusi teoritis penelitian ini tidak terletak pada penciptaan teori baru, melainkan pada pengayaan kerangka pengambilan keputusan multikriteria (MCDM) untuk prioritisasi investasi energi terbarukan di wilayah kepulauan, sekaligus menjawab celah penelitian yang diuraikan pada Sub-bab 2.1.

Pertama, penelitian ini mengembangkan kerangka hibrida Fuzzy AHP-TOPSIS-Dual Pareto Frontier sebagai satu kesatuan metodologis dan menerapkannya pada skala besar yang heterogen, yaitu 156 lokasi PLTD dengan skema Independent Power Producer (IPP). Berbeda dari mayoritas studi AHP/FAHP-TOPSIS yang berhenti pada satu daftar peringkat linier dan mengasumsikan skor tertinggi selalu optimal (Aswal et al., 2026; Gao, 2025; Sharma & Sarin, 2025), skor TOPSIS di sini tidak diperlakukan sebagai keluaran akhir, melainkan sebagai masukan bagi penyaringan solusi non-dominan, yaitu pola dua tahap yang sejalan dengan logika Wu et al. (2018) namun diterapkan pada konteks dedieselisasi pembangkit eksisting yang belum banyak dikaji.

Kedua, kebaruan utama penelitian ini terletak pada adaptasi Dual Pareto Frontier dalam dua perspektif paralel, yaitu efisiensi modal (CC_i terhadap investasi jaringan) dan dampak iklim (CC_i terhadap emisi CO_2). Penggunaan dua kurva Pareto secara paralel untuk perspektif finansial dan lingkungan masih jarang dijumpai dalam literatur prioritisasi sistem energi terbarukan yang umumnya memakai optimasi multi-objektif berbasis algoritma evolusioner seperti NSGA-II/NSGA-III (Mizrak et al., 2025; Su et al., 2025; Zhang et al., 2025). Pendekatan dua dimensi ini membuat hasil MCDM lebih mudah diinterpretasikan karena pengambil keputusan dapat langsung mengenali alternatif yang efisien secara biaya, berdampak secara lingkungan, atau unggul pada keduanya.

Ketiga, penelitian ini memperkenalkan klasifikasi strategis berbasis sintesis dua kurva Pareto. Pemetaan status non-dominasi pada matriks 2x2 menghasilkan pengelompokan alternatif yang dapat langsung diterjemahkan menjadi tahapan investasi (Quick Wins, Strategis, dan Jangka Panjang), sehingga keluaran penelitian tidak berhenti pada peringkat, melainkan berupa roadmap prioritas yang aplikatif. Hal ini selaras dengan gagasan strategic profiling pada Mizrak et al. (2025), tetapi dihasilkan melalui mekanisme dominansi yang lebih sederhana dan transparan.

Implikasi Praktis

Hasil penelitian ini memiliki sejumlah implikasi praktis bagi PT PLN (Persero), khususnya Unit Induk Wilayah Maluku dan Maluku Utara, dalam menyusun roadmap investasi dedieselisasi.Implikasi pertama adalah tersedianya instrumen pengambilan keputusan yang lebih objektif dan terukur. Kerangka Fuzzy AHP-TOPSIS-Dual Pareto Frontier memberikan dasar kuantitatif yang transparan dan dapat ditelusuri, sehingga membantu manajemen menjelaskan alasan pemilihan lokasi prioritas kepada pemangku kepentingan internal maupun regulator, sekaligus mengurangi perdebatan subjektif lintas fungsi dalam program dedieselisasi.

Implikasi kedua adalah dukungan terhadap efisiensi alokasi anggaran investasi jaringan. PLTD Olong sebagai Fase 1 atau Quick Wins mampu mewakili 4,53% total potensi pengurangan emisi wilayah hanya dengan 0,58% kebutuhan investasi jaringan agregat, yaitu Rp0,82 miliar dari total Rp140,22 miliar. Dengan profil BPP ekstrem (Rp39.639/kWh) dan emisi besar (16.201 ton CO_2 per tahun), lokasi ini sekaligus menjadi kandidat proyek percontohan (proof of concept) untuk membuktikan kelayakan teknis, ekonomi, dan lingkungan konversi sebelum direplikasi ke lokasi lain.

Implikasi ketiga adalah tersedianya roadmap investasi tiga fase yang adaptif. Lokasi Quick Wins (PLTD Olong) dapat didahulukan untuk memperoleh hasil cepat; lokasi Strategis Modal seperti PLTD Pulau Gala dapat diprioritaskan ketika anggaran terbatas; sedangkan lokasi Strategis Iklim seperti PLTD SW Weda dapat diprioritaskan ketika target pengurangan emisi menjadi tekanan utama. Dengan demikian, roadmap tidak bersifat kaku, melainkan dapat disesuaikan dengan dinamika anggaran tahunan dan target organisasi.

Dengan demikian, implikasi praktis utama penelitian ini adalah tersedianya kerangka prioritas investasi dedieselisasi yang lebih terukur, adaptif, dan dapat digunakan sebagai dasar penyusunan roadmap implementasi. Pendekatan ini diharapkan mendukung transisi energi di wilayah kepulauan secara lebih efisien, bertahap, dan selaras dengan tujuan pengurangan ketergantungan terhadap PLTD serta penurunan emisi CO_2.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan diskusi yang telah dilakukan tentang pengaruh penggunaan teknologi informasi dan kemudahan penggunaan teknologi terhadap efisiensi kerja karyawan melalui persepsi kemanfaatan sebagai variabel mediasi di Toko Megah Mulia, beberapa kesimpulan dapat dibuat sebagai berikut.

Pertama, terbukti bahwa kemanfaatan persepsi ditingkatkan oleh penggunaan teknologi informasi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin intens dan konsistensi karyawan menggunakan sistem informasi teknologi , semakin besar keyakinan mereka bahwa teknologi tersebut memberikan manfaat nyata bagi pekerjaan mereka.

Selain itu, semakin mudah digunakan, teknologi tersebut juga berdampak positif dan signifikan pada kemanfaatan persepsi. Oleh karena itu, sistem yang mudah dipahami, dipelajari, dan digunakan akan membuat karyawan merasa lebih baik tentang manfaat informasi teknologi dalam meningkatkan efektivitas kerja mereka.

Ketiga, penggunaan informasi teknologi memiliki dampak positif yang signifikan terhadap efisiensi kerja karyawan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi optimal dapat mempercepat penyelesaian tugas, mengurangi kesalahan, dan meningkatkan produktivitas.

Keempat, dampak kemudahan teknologi terhadap efisiensi kerja karyawan lebih kecil dibandingkan variabel lainnya. Hasilnya menunjukkan bahwa kemudahan sistem meningkatkan efisiensi, tetapi efeknya menjadi lebih besar jika didukung oleh persepsi kemanfaatan yang tinggi. Kelima, persepsi kemanfaatan terbukti memiliki pengaruh paling dominan terhadap efisiensi kerja karyawan, dan juga berfungsi sebagai variabel mediasi dalam hubungan antara kemudahan penggunaan teknologi informasi dan efisiensi kerja.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan teknologi bukan satu-satunya faktor yang menentukan efisiensi kerja karyawan, tetapi juga keyakinan karyawan bahwa teknologi itu benar-benar bermanfaat bagi pekerjaan mereka. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa keberhasilan penerapan teknologi informasi dalam organisasi bergantung pada dua hal: fitur teknis sistem dan perasaan pengguna tentang manfaat teknologi.

REFERENSI

Davis, Fred D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 319–340.

Escobar-Rodríguez, T. (2012). Acceptance of e-prescriptions and automated medication-management systems in hospitals: An extension of the technology acceptance model. Journal of Information Systems, 26(1), 77–96. https://publications.aaahq.org/jis/article-abstract/26/1/77/1555

Fawaati, T. M. (2020). Hubungan antara kemudahan penggunaan SIM dan produktivitas karyawan. Jurnal Multimedia dan Android.

Fernando, N., Rosa, T., & Bakrie, B. (2020). Pengaruh kemudahan dan kemanfaatan penggunaan TAM terhadap produktivitas kerja. Repository Universitas Respati Indonesia. https://repository.urindo.ac.id/files/original/dc2c74e0fc402b15354f1b1d7c13b92caba97673.pdf

Ghozali, I. (2021). Structural equation modeling dengan metode alternatif partial least squares (PLS) (Edisi 5). Badan Penerbit Universitas Diponegoro.

Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2022). A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) (3rd ed.). Sage Publications.

Hamner, M. (2009). Expanding the technology acceptance model to examine personal computing technology utilization in government agencies in developing countries. Information & Management. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740624X08001093

Hasan, N. N., Maulana, F., & Wiguna, A. P. (2025). Pemanfaatan teknologi informasi untuk efisiensi operasional UMKM. Jurnal Sains, Ekonomi, Manajemen, Akuntansi dan Hukum, 2(4). https://doi.org/10.60126/sainmikum.v2i4.1094

Hernanto, M. Z. R., & Cahyono, D. (2024). In-depth review of perceived usefulness, ease of use, and usage intent as mediating factors in digital marketing technology adoption. http://proceeding.unmuhjember.ac.id/index.php/issh/article/view/704

Jackson, D., & Allen, C. (2024). Technology adoption in accounting: the role of staff perceptions and organisational context. https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/jaoc-01-2023-0007/full/html

Kurniawan, E. P., Rusdianti, E., & Sulistyawati, A. I. (2021). Pengaruh penggunaan teknologi informasi dan karakteristik individu terhadap kinerja karyawan. Sustainable Business Journal. https://doi.org/10.26623/sbj.v1i2.6695

Meneses, J. L., Mabuting, R. E., & Amago, J. (2024). Influencing the behavioral intention to use the human resource information system (HRIS): An extended TAM. Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-80943-9_105

Muslimah Umi Kalsum & Mangasi Panjaitan. (2025). Pengaruh penggunaan teknologi informasi dan lingkungan kerja terhadap kinerja karyawan dengan kepuasan kerja sebagai variabel intervening. IKRAITH-EKONOMIKA. https://doi.org/10.37817/ikraith-ekonomika.v8i3.6193

Nath, R., Bhal, K. T., & Kapoor, G. T. (2013). Factors influencing IT adoption by bank employees: An extended TAM approach. Vikalpa, 38(4).

Nissinen, S., Pesonen, S., Toivio, P., & Sormunen, E. (2023). Occupational health professionals' experiences with telehealth services: Usage, perceived usefulness and ease of use. https://link.springer.com/article/10.1007/s12553-023-00776-w

Nurhayati, S. (2020). Efisiensi kerja dalam organisasi berbasis teknologi. Jurnal Ilmu Manajemen, 8(2), 77–89.

Ramadhani, N. N., Jubaidi, J., & Karhab, R. S. (2025). Pengaruh pemanfaatan teknologi informasi terhadap produktivitas karyawan di Sekretariat Daerah Provinsi Kalimantan

Timur. Jurnal Ilmiah Manajemen dan Kewirausahaan, 4(2). https://doi.org/10.55606/jimak.v4i2.4685

Rizky, M. C. (2022). Pengaruh penggunaan teknologi terhadap fleksibilitas dan kinerja karyawan di era new normal pada PT Kalfaz Sadhara. Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, dan Informatika (REMik), 6(4). https://www.jurnal.polgan.ac.id/index.php/remik/article/view/11831

Shihab, M. R., Meilatinova, N., & Hidayanto, A. N. (2017). Determinants of CAATT acceptance: Insights from public accounting firms in Indonesia. Procedia Computer Science, 124, 238–245. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917329538

Sholikhin, R. D., & Nasir, M. (2023). Pengaruh teknologi informasi dan keterampilan terhadap efisiensi kerja dengan kinerja karyawan sebagai variabel mediasi. Jurnal Innovative Research, 4(2). http://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/5758

Siedl, S. M., & Mara, M. (2021). Exoskeleton acceptance and its relationship to self-efficacy enhancement, perceived usefulness, and physical relief. Wearable Technologies.

Sugiyono. (2022). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D. Alfabeta.

Tevera, C. M., & Ruhode, E. (2024). Adoption of library information systems using the Technology Acceptance Model: A South African study. International Journal of Managing Information Technology.

Utari, I. G. A. N. D., & Wirakusuma, M. G. (2024). Kemanfaatan, kemudahan, kompetensi penggunaan teknologi informasi dan kinerja auditor di masa pandemi Covid-19. E-Jurnal Akuntansi. https://doi.org/10.24843/EJA.2024.v34.i05.p11