

Decision-Making System for Determining the Location of Public Electric Charging Stations (SPLU) with Machine Learning

[Sistem Pengambilan Keputusan Penentuan Lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) dengan Machine Learning]

Fierda Lestari Sarpangga Putri¹⁾, Sriyono^{2)*}

¹⁾Program Studi Magister Manajemen, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Magister Manajemen, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Email Penulis Korespondensi: sriyono@umsida.ac.id

Abstract: Electric vehicles are becoming increasingly popular as an environmentally friendly alternative, but the main challenge is the availability of adequate charging infrastructure. This research aims to develop a decision making system for determining the best public electric vehicle charging station (SPLU) locations utilizing machine learning. The purpose of this research is to find out the process of determining the location of Public Electric Charging Stations (SPLU) using a Machine Learning-based decision making system. This research uses quantitative methods with AHP techniques to determine the criteria weights and machine learning to recommend the best SPLU locations based on spatial data, surveys, and social media. The location recommendations are displayed in the form of an interactive digital map with visualizations of the suitability level to facilitate decision making.

Keywords: Electricity, Locations of Public Electric Vehicle Charging Stations, Social Media.

Abstrak: Kendaraan listrik semakin populer sebagai alternatif ramah lingkungan, tetapi tantangan utamanya adalah ketersediaan infrastruktur pengisian daya yang memadai. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pengambilan keputusan lokasi stasiun pengisian listrik umum (SPLU) terbaik dengan memanfaatkan pembelajaran mesin. Tujuan penelitian ini yakni untuk mengetahui proses penentuan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) menggunakan sistem pengambilan keputusan berbasis Machine Learning. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan teknik AHP untuk menentukan bobot kriteria dan machine learning untuk merekomendasikan lokasi SPLU terbaik berdasarkan data spasial, survei, dan media sosial. Hasil rekomendasi lokasi ditampilkan dalam bentuk peta digital interaktif dengan visualisasi tingkat kecocokan untuk memudahkan pengambilan keputusan.

Kata Kunci: Listrik, Lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum, Media Sosial.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kadar gas rumah kaca yang terjadi saat ini menjadi perhatian serius dari berbagai pihak, termasuk masyarakat dan pemerintah. Pada tahun 2016, Indonesia telah menyetujui Perjanjian Paris di mana negara ini berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca pada tahun 2030. Salah satu strategi untuk mencapai tujuan tersebut adalah dengan mendorong penduduk Indonesia untuk beralih dari menggunakan kendaraan konvensional berbahan bakar fosil menjadi kendaraan listrik.[1] Kendaraan listrik semakin populer sebagai alternatif ramah lingkungan untuk kendaraan berbahan bakar fosil. Meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil di Indonesia, negara dengan perekonomian terbesar di Asia Tenggara, merupakan salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap buruknya kualitas udara yang dihadapi banyak kota. Konsumsi energi untuk sektor transportasi diperkirakan akan meningkat dua kali lipat di tahun-tahun mendatang, dan angka ini masih sangat tinggi meskipun ada upaya pemerintah untuk mempromosikan energi hijau dan konservasi energi.[2]

Listrik sebagai bentuk energi paling universal menjadi pilihan utama pengganti energi fosil. Dengan mengubah energi terbarukan yang tahan lama, seperti Matahari atau Angin menjadi listrik, kita dapat menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan. Oleh karena itu, perubahan sumber energi transportasi dari energi fosil ke energi listrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dipandang perlu.[3] Stasiun pengisian daya pertama di Indonesia awalnya

dikembangkan oleh PT. PLN (Persero) dengan sebutan SPLU (Stasiun Pengisian Listrik Umum). Namun, SPLU tersebut lebih dikhususkan untuk pengisian daya dalam skala kecil, seperti untuk pedagang kaki lima, sepeda listrik, dan motor listrik. Kapasitas daya yang disediakan berkisar antara 5.5 kVA hingga 22 kVA, dan hanya dilengkapi dengan soket tanpa colokan pengisian langsung. SPLU ini umumnya dipasang di fasilitas umum. Sampai saat ini, PLN telah menginstal lebih dari 7.000 unit SPLU, di mana 1.922 di antaranya tersebar di Jakarta [4].

Pada tahun 2019, Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai untuk Transportasi Jalan telah disahkan oleh Presiden. Langkah ini diharapkan dapat menciptakan kondisi investasi yang menguntungkan bagi industri aki listrik, yang merupakan komponen kunci dalam kendaraan listrik. Keberhasilan kendaraan listrik sebesar 60% bergantung pada kualitas komponen baterai. Tidak hanya itu, Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) yang memadai juga menjadi komponen pendukung utama bagi kendaraan listrik, memastikan ketersediaan tempat untuk mengisi ulang kendaraan listrik tanpa kesulitan bagi pengguna. Di Indonesia, kendaraan listrik, seperti hybrid, plug-in hybrid, baterai, dan fuel cell, sudah menjadi hal yang tidak asing. Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menetapkan target pengembangan sebanyak 2.200 unit mobil listrik pada tahun 2025. Dengan asumsi ini, diharapkan jumlah kendaraan listrik mencapai 20.000 unit pada tahun tersebut, dan proyeksi akan meningkat menjadi 35,5 juta unit kendaraan listrik pada tahun 2050. Seiring dengan peningkatan permintaan akan kendaraan listrik, kebutuhan listrik diperkirakan akan meningkat menjadi 36,9 GWh pada tahun 2025 dan mencapai 46,3 TWh pada tahun 2050. Diperkirakan produksi listrik akan tumbuh dengan rata-rata 6% setiap tahunnya, meningkat dari 255 TWh menjadi 1.581 TWh. Penggunaan kendaraan listrik diharapkan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar minyak untuk mobil dari 498 juta BOE menjadi 385 juta BOE pada tahun 2050, mengalami penurunan sekitar 22,7%. Dalam periode 33 tahun mendatang, diperkirakan terjadi pergeseran dominasi penggunaan listrik dari sektor rumah tangga menuju sektor industri.[5]

Banyak keunggulan yang dapat diperoleh dengan menggunakan kendaraan berbasis listrik, terutama terkait dengan isu pencemaran udara dan keterbatasan sumber daya fosil. Operasional kendaraan listrik juga lebih ekonomis jika dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar fosil. Sebagai contoh, dalam waktu pengisian baterai bus listrik selama 5-6 jam, kendaraan dapat menempuh jarak hingga 60 kilometer (km). Proses pengisian baterai kendaraan listrik juga lebih sederhana karena dapat dilakukan sendiri oleh pengguna di rumah tanpa perlu melalui rantai distribusi yang panjang, seperti yang umumnya terjadi pada bahan bakar fosil. Dalam konteks pengisian baterai, pentingnya Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) terlihat, karena pengisian tidak hanya terbatas di rumah, tetapi juga dapat dilakukan di SPLU yang tersedia di tengah perjalanan.[6]

Pembuatan SPLU merupakan langkah untuk mendorong adopsi transportasi berbasis listrik. Fasilitas ini dapat digunakan oleh anggota komunitas akademis untuk mengisi daya sepeda listrik, mobil listrik, motor listrik, atau bahkan untuk keperluan listrik pada kegiatan luar ruangan.[7] Namun, tantangan utama untuk adopsi massal kendaraan listrik adalah ketersediaan infrastruktur pengisian daya yang memadai. Stasiun pengisian listrik umum (SPLU) memungkinkan pemilik kendaraan listrik untuk mengisi daya di lokasi publik, sehingga mengurangi kekhawatiran mereka tentang jarak tempuh terbatas. Oleh karena itu, penentuan lokasi SPLU yang optimal sangat penting.

Membuat keputusan adalah suatu tindakan yang umum, tetapi tidaklah sederhana dan mudah. Hal ini disebabkan oleh kompleksitas keputusan yang memerlukan pertimbangan berbagai faktor dan proses seleksi untuk mencapai utilitas optimal.[8] Beberapa faktor perlu dipertimbangkan saat memilih lokasi SPLU, seperti aksesibilitas, visibilitas, ketersediaan lahan, dan pola perjalanan pengguna kendaraan listrik. Selain itu, preferensi dan perilaku pengemudi perlu diperhitungkan untuk memastikan pemanfaatan dan tingkat adopsi yang optimal.[9] Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pengambilan keputusan dalam menentukan lokasi SPLU terbaik dengan memanfaatkan machine learning. Machine learning merupakan cabang dari AI yang memungkinkan komputer untuk belajar dari data dan membuat prediksi atau keputusan tanpa diprogram secara eksplisit. Beberapa teknik machine learning yang sesuai untuk permasalahan ini diantaranya adalah random forest, support vector machine (SVM), dan neural network.[10] Dengan menggabungkan data geospasial, survei preferensi pengemudi, dan teknik pemodelan kecerdasan buatan mutakhir, sistem yang diusulkan diharapkan dapat secara akurat memprediksi permintaan pengisian daya di lokasi calon dan memilih lokasi SPLU terbaik di kota target.

Pembelajaran mesin, dan khususnya pembelajaran mendalam atau deep learning, telah terbukti sangat efektif dalam tugas pemodelan perilaku dan prediksi kompleks dalam berbagai bidang. Jaringan saraf tidak diawasi, khususnya varian seperti Restricted Boltzmann Machines (RBMs), dapat menangkap pola dalam data perilaku dan preferensi manusia yang mungkin terlewatkan oleh pendekatan tradisional. Selain itu, teknik pemrosesan bahasa alami seperti Latent Dirichlet Allocation (LDA) berguna untuk mengekstraksi wawasan dari survei preferensi pengemudi teks bebas.[11]

Data merupakan fondasi penting dalam penerapan machine learning. Data historis mengenai lokasi SPLU yang ada, pola perjalanan kendaraan listrik, demografi pengguna, dan data spasial wilayah perkotaan akan digunakan sebagai input model machine learning. Teknik feature engineering juga dilakukan untuk mengekstraksi fitur-fitur kunci yang relevan dari data mentah, sehingga dapat meningkatkan akurasi prediksi model. Beberapa fitur potensial yang dapat diekstraksi dari data antara lain: Jarak dari pusat kota, Kepadatan penduduk di sekitar lokasi, Jumlah tempat parkir umum, Aksesibilitas (dekat pusat perbelanjaan, perkantoran, dsb) [12]. Pola lalu lintas dan titik kemacetan dan Jumlah SPBU konvensional terdekat. Fitur-fitur ini diharapkan dapat menangkap preferensi dan perilaku pengguna kendaraan listrik serta pola permintaan pengisian daya di wilayah perkotaan.

Gabungan model pembelajaran mesin ini akan menggunakan masukan seperti data lalu lintas, kepadatan penduduk, koordinat calon lokasi SPLU, tanggapan survei tentang preferensi lokasi pengisian, dll. untuk memprediksi permintaan pengisian di lokasi calon [13]. Kemudian, optimasi lokasi multi-objektif yang mempertimbangkan faktor-faktor seperti aksesibilitas, biaya, dan permintaan diprediksi akan digunakan untuk memilih subset lokasi SPLU terbaik di seluruh kota. Dengan demikian, sistem yang diusulkan diharapkan memberikan rekomendasi tapak SPLU yang selaras dengan preferensi dan kebutuhan pengguna kendaraan listrik sebenarnya. Hal ini penting untuk memastikan pemanfaatan stasiun pengisian yang optimal dan mendorong adopsi kendaraan listrik dalam jangka panjang. Selain itu, sistem tersebut dapat dengan mudah disesuaikan dan diterapkan ke kota lain dengan kebutuhan infrastruktur pengisian kendaraan listrik yang meningkat.

Model machine learning kemudian dilatih dengan data ini agar dapat memetakan hubungan antara berbagai kombinasi nilai fitur dengan lokasi SPLU yang ideal [14]. Beberapa teknik validasi model juga dilakukan untuk memastikan akurasi prediksi, seperti k-fold cross validation dan holdout method. Model terbaik yang tervalidasi kemudian digunakan dalam sistem pengambilan keputusan lokasi SPLU berbasis web/mobile. Sistem ini diharapkan dapat membantu instansi terkait maupun penyedia layanan SPLU dalam mengevaluasi calon lokasi SPLU baru di wilayah perkotaan. Pengguna cukup memasukkan data profil lokasi tersebut ke dalam sistem, dan model machine learning yang telah terlatih akan memprediksi kelayakan lokasi tersebut. Sistem ini juga dilengkapi visualisasi peta digital yang interaktif untuk memudahkan analisis.

Studi awal oleh Amilia et al. menggunakan data dari Surabaya, Indonesia, dan mempertimbangkan dua moda transportasi utama yang dapat digunakan oleh penduduk setempat yakni sepeda motor listrik dan mobil listrik. Eksperimen numerik dengan 11 calon lokasi stasiun pengisian kendaraan listrik dan proyeksi jumlah kendaraan listrik pada fase penetrasi awal di 98 kecamatan di seluruh kota menunjukkan bahwa hanya diperlukan empat stasiun pengisian daya untuk mencakup seluruh kota, mengingat teknologi pengisian daya yang dimiliki PLN. diperoleh. Namun, waktu perjalanan konsumen yang sangat lama (sekitar 35 menit), dapat mengakibatkan buruknya layanan konsumen dan hambatan terhadap teknologi kendaraan listrik. Analisis sensitivitas menemukan bahwa membangun lebih banyak stasiun pengisian daya dapat mengurangi waktu namun memerlukan biaya yang lebih tinggi karena pemasangan fasilitas tambahan. Menambahkan lapisan redundansi untuk mencegah pemadaman listrik atau gangguan lainnya juga memerlukan biaya yang lebih tinggi, namun bisa menjadi pilihan yang menarik untuk merancang infrastruktur kendaraan listrik yang lebih andal dan berkembang. Model ini dapat memberikan wawasan kepada para pengambil keputusan untuk merancang desain infrastruktur yang paling andal dan hemat biaya guna mendukung penerapan kendaraan listrik dan sistem transportasi cerdas yang jauh lebih maju dalam waktu dekat.[2]

Namun, penelitian sebelumnya terbatas pada studi kasus tertentu dan belum mengintegrasikan berbagai sumber data maupun teknik pemodelan mutakhir secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian yang diusulkan bertujuan untuk mengembangkan kerangka sistem pengambilan keputusan terintegrasi pertama yang menerapkan berbagai model pembelajaran mesin canggih pada masalah optimasi tapak SPLU. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas,

penulis tertarik melakukan penelitian yang berjudul *Sistem Pengambilan Keputusan Penentuan Lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) dengan Machine Learning*.

RUMUSAN MASALAH :

Berdasar pada pemaparan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yakni “Bagaimana proses penentuan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) menggunakan sistem pengambilan keputusan berbasis Machine Learning?”.

TUJUAN PENELITIAN :

Sedangkan untuk tujuan dari diadakannya penelitian ini yakni untuk mengetahui proses penentuan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) menggunakan sistem pengambilan keputusan berbasis Machine Learning.

KATEGORI SDGS : Sesuai dengan kategori SDGs 7 yaitu Energi Bersih dan Terjangkau (Affordable and Clean Energy). Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem untuk menentukan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) menggunakan machine learning. SPLU merupakan infrastruktur penting untuk menyediakan energi listrik bagi kendaraan listrik, sehingga berkontribusi dalam transisi menuju energi bersih dan terjangkau. Dengan menerapkan machine learning untuk menganalisis berbagai faktor dalam menentukan lokasi SPLU, diharapkan dapat dipilih lokasi yang paling optimal dan strategis. Hal ini akan meningkatkan aksesibilitas masyarakat terhadap fasilitas pengisian kendaraan listrik, sehingga percepatan adopsi kendaraan listrik dapat terwujud. Ketersediaan SPLU yang memadai melalui optimalisasi lokasi dengan machine learning ini dapat mendukung tujuan SDGs poin ke-7 yaitu memastikan akses energi bersih yang andal dan terjangkau untuk semua. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada upaya global dalam peralihan menuju energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

II. LITERATUR REVIEW

Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU)

Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) merupakan fasilitas pengisian daya listrik bagi kendaraan listrik yang tersedia untuk digunakan secara umum oleh masyarakat. Keberadaan SPLU memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung penggunaan kendaraan listrik seperti mobil listrik, motor listrik, dan sepeda listrik. Ketersediaan SPLU yang memadai diharapkan dapat mendorong masyarakat beralih menggunakan kendaraan listrik sehingga dapat mengurangi emisi gas buang dari kendaraan konvensional.[15]

Stasiun pengisian listrik umum pertama kali mulai dibangun di Indonesia pada tahun 2009. Pemerintah melalui Kementerian ESDM terus berupaya meningkatkan rasio elektrifikasi kendaraan listrik dengan terus membangun infrastruktur pendukung seperti SPLU. Hingga Agustus 2022, Kementerian ESDM mencatat sebanyak 3.301 unit SPLU telah terpasang di 433 kabupaten/kota di 34 provinsi. Jumlah ini terus bertambah seiring makin banyaknya kendaraan listrik yang beredar. Dalam pembangunan SPLU, pemerintah menasar wilayah-wilayah publik seperti pusat perbelanjaan, pom bensin, tempat wisata, dan tempat umum lain yang banyak dikunjungi orang. Selain itu, keberadaan SPLU juga disinergikan dengan pengembangan kendaraan listrik baik dari segi jumlah kendaraan maupun model pengadaannya. Dengan demikian diharapkan utilitasnya dapat optimal.

Dari sisi teknologi, SPLU yang dibangun saat ini menggunakan beragam jenis sesuai kebutuhan dan kondisi di lapangan. Secara garis besar, kuasa pengisian SPLU dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu lambat (7-22 kW), menengah (22-50 kW), dan cepat (>50 kW). Masing-masing jenis pengisian daya cocok untuk segmen kendaraan listrik tertentu. Misalnya pengisian lambat lebih sesuai untuk sepeda listrik, pengisian menengah untuk mobil listrik, dan pengisian cepat untuk bus listrik. Dari sisi desain, sebuah stasiun pengisian listrik umum standar dilengkapi dengan beberapa komponen utama seperti panel surya, inverter, sistem penyimpanan baterai, dan beberapa unit pengisian daya (charging point) sesuai kebutuhan. Panel surya berfungsi mengubah sinar matahari menjadi listrik DC yang disimpan di baterai. Listrik DC ini kemudian diubah ke listrik AC oleh inverter agar dapat digunakan untuk mengisi daya kendaraan.[16]

Beberapa SPLU juga dilengkapi fitur pendukung lain seperti atap pelindung, kamera CCTV, dan fitur koneksi internet agar dapat terintegrasi dengan sistem monitoring jarak jauh.[17] Selain itu, sebagian SPLU modern juga

dilengkapi sistem pembayaran digital untuk kemudahan transaksi bagi pengguna. Dengan penerapan teknologi ini, kualitas dan efisiensi pelayanan SPLU kepada masyarakat dapat terus ditingkatkan. Dalam operasionalnya, sebagian besar SPLU saat ini disediakan oleh pemerintah baik pusat maupun daerah. Akan tetapi, dalam Perpres No. 55 Tahun 2019, pemerintah mendorong peran serta badan usaha dalam penyediaan dan pengelolaan infrastruktur pengisian kendaraan listrik untuk umum. Sejumlah BUMN seperti PLN dan Pertamina juga tengah mengembangkan SPLU baik secara mandiri maupun melalui skema kerja sama. Di masa depan, peran swasta diharapkan semakin signifikan dalam percepatan pembangunan SPLU.

Harga pemakaian SPLU sendiri dikenakan biaya berdasarkan lamanya pengisian dan kapasitas baterai kendaraan listrik. Tarif pengisian untuk 1 kWh dapat berkisar antara Rp 2.000 hingga Rp 4.000. Harga ini lebih murah dibanding mengisi bahan bakar fosil seperti bensin atau diesel. Fleksibilitas model bisnis SPLU yang memungkinkan bagi badan usaha turut menjadi daya tarik pengembangan infrastruktur ini. Pengembangan stasiun pengisian listrik umum diproyeksikan akan semakin pesat di tahun-tahun mendatang, seiring rencana percepatan elektrifikasi kendaraan oleh pemerintah. Target rasio kendaraan listrik pada 2030 mencapai 2 juta unit mobil listrik dan 13 juta unit sepeda motor listrik dari total populasi kendaraan nasional. Untuk mendukung optimasi operasional armada kendaraan listrik seluas itu tentunya dibutuhkan ribuan unit stasiun pengisian yang tersebar di seluruh pelosok tanah air.

Dalam rangka mencapai target ambisius tersebut, berbagai inovasi dan terobosan terus dilakukan baik dari sisi kebijakan, teknologi, skema bisnis, serta lokasi dan desain SPLU agar dapat memenuhi kebutuhan masyarakat pada masa mendatang. Dengan dukungan berbagai pemangku kepentingan, diharapkan Indonesia dapat segera mewujudkan ekosistem kendaraan listrik yang berdaya saing tinggi untuk mempercepat transisi menuju transportasi rendah karbon yang ramah lingkungan. Ketersediaan infrastruktur pengisian yang memadai melalui SPLU merupakan kunci penting demi mewujudkan sistem transportasi masa depan yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Machine Learning

Machine Learning (ML) adalah cabang ilmu Artificial Intelligence (AI) yang memungkinkan mesin atau komputer belajar dari data, mengenali pola, dan membuat keputusan atau prediksi tanpa diprogram secara eksplisit. ML telah banyak diimplementasikan dalam berbagai bidang termasuk transportasi dan mobilitas. Salah satu contoh penerapannya adalah untuk penentuan lokasi fasilitas publik seperti halte bus, stasiun pengisian bahan bakar, hingga Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU). SPLU merupakan infrastruktur pengisian daya bagi kendaraan listrik seperti mobil listrik, motor listrik, dan sepeda listrik. Lokasi penempatan SPLU yang tepat sangat vital agar bisa dimanfaatkan secara optimal oleh masyarakat pengguna kendaraan listrik. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan antara lain kepadatan penduduk, lalu lintas kendaraan listrik, pola perjalanan, ketersediaan lahan, dan akses listrik. [10]

Pada penelitian ini akan dikembangkan sistem otomatisasi untuk rekomendasi lokasi SPLU terbaik dengan memanfaatkan algoritma machine learning. Sistem ini diharapkan dapat melakukan analisis pola spasial berdasarkan data historis dengan lebih cepat dan akurat dibanding perhitungan manual. Proses penentuan lokasi fasilitas umum secara konvensional kerap melibatkan survei lapangan yang memakan waktu dan tidak selalu mutakhir. Sementara penerapan model matematika seperti analisis jaringan juga masih terbatas kemampuannya dalam mengolah data dalam jumlah besar dan variatif. Oleh karena itu, machine learning dinilai dapat menjadi solusi optimal karena keunggulannya dalam melakukan komputasi data spasial dalam waktu singkat dan skala besar. [18]

Machine learning pada dasarnya bekerja dengan cara mempelajari pola pada data masa lalu, kemudian membentuk model prediksi untuk menerapkan pengetahuan pada data dan situasi baru. Model ML ini dapat secara terus menerus disempurnakan dengan menggunakan data aktual terbaru. Kemampuan inilah yang diharapkan dapat dimanfaatkan untuk menganalisis berbagai atribut spasial yang relevan dalam kasus lokasi SPLU, misalnya pola lalu lintas real-time, kepadatan penduduk, hingga lahan potensial yang tersedia. [19]

Dalam pengembangan sistem ML, tahapan yang dilakukan secara garis besar meliputi persiapan data, pemilihan dan pelatihan model ML, evaluasi performa model, serta pengimplementasian model untuk prediksi atau klasifikasi data baru. Setelah model terbaik didapat, sistem ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi 3-5 lokasi teratas dari lokasi calon SPLU dengan skor optimasi tertinggi. Hasil ini tentunya lebih presisi dibanding survei konvensional yang cenderung subjektif atau manual. Tentu saja faktor penentuan akhir tetap ada di tangan pengambil kebijakan dengan mempertimbangkan berbagai faktor lainnya secara menyeluruh. [20]

Dengan mengintegrasikan data histori, real-time, dan prediksi ke dalam sistem pengambilan keputusan berbasis ML ini, lokasi SPLU dapat selalu dioptimalkan secara dinamis sesuai tren terkini dan proyeksi ke depan, tanpa terpaku pada model statis. Adopsi algoritma ML yang semakin meningkat pesat di berbagai kota besar juga patut menjadi inspirasi dan peluang bagi Indonesia untuk mulai memaksimalkan potensinya dalam mewujudkan perencanaan dan pengelolaan infrastruktur publik yang lebih smart. Meskipun pengembangan dan implementasi sistem ML tidaklah murah, investasi di bidang ini dapat memberi ROI jangka panjang yang signifikan dari efisiensi waktu, tenaga kerja, dan akurasi keputusan yang dihasilkan. Apalagi dalam kasus penentuan lokasi infrastruktur vital bagi ketahanan energi dan dekarbonisasi transportasi seperti SPLU ini. Ke depannya, pemanfaatan AI dan ML untuk berbagai kasus serupa dapat semakin dimaksimalkan seiring terbukanya akses data publik dan dukungan regulasi yang memadai.

Sebagai sebuah negara berkembang dengan visi kuat menuju ekosistem kendaraan listrik massal, Indonesia patut terus mendorong kolaborasi riset antara perguruan tinggi dan institusi terkait guna mengembangkan inovasi di bidang ML dan transportasi kelas dunia, sebagaimana negara-negara maju lainnya. Dengan demikian, diharapkan Indonesia semakin siap bersaing dan tumbuh berkelanjutan menyongsong era ekonomi digital masa kini dan masa depan yang penuh disrupsi serta ketidakpastian. Pengembangan sistem dengan machine learning ini diharapkan dapat membantu pemerintah dan pelaku usaha dalam perencanaan lokasi fasilitas pengisian kendaraan listrik secara data-driven, serta mendorong akselerasi implementasi kendaraan listrik di Indonesia ke depannya.

Sistem Pengambilan Keputusan

Sistem Pengambilan Keputusan (SPK) adalah rangkaian prosedur dan metode yang dirancang secara logis untuk mengolah data guna mendukung proses pengambilan keputusan dalam memilih alternatif atau solusi terbaik. Komponen utama SPK biasanya meliputi database, model atau algoritma perhitungan, antarmuka input dan output, serta pengguna sistem. SPK mensintesis data masukan dan preferensi pengguna untuk menghasilkan rekomendasi keputusan yang bersifat objektif. SPK dapat diterapkan pada berbagai domain, mulai dari personal (misalnya memilih jasa perbankan), bisnis (misalnya menentukan marketing campaign), hingga publik (misalnya penentuan lokasi fasilitas umum).[21] Salah satu kasus penerapan SPK adalah untuk pemilihan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) yang optimal. SPLU mendukung mobilitas kendaraan listrik seperti mobil dan motor listrik yang notabene masih belum memiliki jangkauan jarak jauh. Oleh karena itu, keberadaan dan distribusi lokasi SPLU perlu dipertimbangkan secara cermat melalui sistem pengambilan keputusan.

Dalam penelitian ini digunakan teknologi machine learning untuk menghasilkan SPK yang lebih cerdas dan presisi rekomendasi lokasinya. Dengan menganalisis data-data historis seperti kepadatan populasi, mobilitas kendaraan listrik, potensi listrik, dan faktor-faktor lainnya dalam volume besar, sistem ML dapat membantu mengidentifikasi area yang paling optimal untuk dibangun SPLU demi memaksimalkan tingkat utilitasnya. Penerapan ML pada SPK penentuan lokasi SPLU dinilai memiliki beberapa keunggulan. Pertama, kemampuan komputasi cepat pada data dalam skala besar. Proses cetak biru lokasi infrastruktur secara manual rentan kesalahan dan bias. Kedua, proses adaptasi terhadap preferensi pengguna atau situasi terkini yang dinamis. Model SPK berbasis ML dapat terus disempurnakan untuk menghasilkan rekomendasi lebih presisi. Ketiga, proses analisis multidimensional yang lebih baik dengan mempertimbangkan ratusan variabel dan skenario sekaligus. Sementara proses pengambilan keputusan tradisional bersifat terbatas.

Dalam sistem ini, ML berperan dalam menemukan pola dan korelasi antardata serta melakukan klasifikasi maupun prediksi. Selanjutnya sistem akan memberikan sejumlah alternatif lokasi SPLU dengan ranking/skor optimasi tertinggi hingga terendah. Sistem kemudian dapat menampilkan visualisasi data geospasial berupa peta interaktif dengan hotspot lokasi potensial SPLU yang direkomendasikan sesuai kebutuhan pengguna. Implementasi sistem pengambilan keputusan dengan memanfaatkan teknologi kecerdasan buatan seperti ML ini sejalan dengan rencana pemerintah mendorong percepatan adopsi kendaraan listrik di Indonesia. Pemilihan lokasi infrastruktur kunci seperti pengisian daya yang optimal dan efisien melalui pendekatan data-driven dan otomatisasi diyakini akan semakin krusial dalam mendukung ekosistem kendaraan listrik massal di masa depan.

Tentu dalam implementasinya, penerapan sistem pengambilan keputusan seperti ini tidak terlepas dari berbagai tantangan, seperti kualitas data, transparansi algoritma, hingga adaptasi teknologi oleh pengguna. Oleh karena itu perlu dilakukan pengayaan model secara berkala dengan memanfaatkan data terbaru dari berbagai sumber terpercaya guna

meningkatkan validitas dan akurasi keputusan yang dihasilkan. Manajemen data serta audit algoritma secara berkala juga penting untuk memastikan sistem ML bekerja secara adil, konsisten, dan terhindar dari bias. Tentu tantangan-tantangan ini bukan halangan untuk mulai menerapkan sistem ML pada kasus-kasus SPK strategis demi mencapai pelayanan publik yang lebih optimal dan efisien di masa depan. Dengan penerapan SPK berbasis ML untuk penentuan lokasi SPLU ini, diharapkan dapat semakin mempercepat adopsi dan pengembangan kendaraan listrik serta tercapainya target rasio kendaraan listrik hingga 13 juta unit di Indonesia pada 2030 mendatang.

Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengurai situasi yang kompleks dan tak terstruktur menjadi beberapa bagian dalam susunan hierarkis. Dalam metode ini, kita memberi penilaian subjektif tentang pentingnya setiap variabel secara relatif, dan menetapkan variabel mana yang memiliki prioritas tertinggi untuk memengaruhi hasil dalam situasi tersebut.[22] Proses pengambilan keputusan pada dasarnya melibatkan pemilihan opsi terbaik. Ini melibatkan langkah-langkah seperti merancang masalah, mengidentifikasi opsi, menilai probabilitas untuk variabel acak, menetapkan nilai, mempertimbangkan preferensi waktu, dan mengevaluasi risiko. Meskipun beragamnya opsi yang mungkin dan kompleksitas penilaian probabilitas, kriteria tunggal tetap menjadi dasar perbandingan.[23]

Alat utama dari Metode Hirarki Analitis (AHP) adalah memiliki struktur hierarkis yang berfungsi dengan mempertimbangkan persepsi manusia sebagai input utamanya. Dengan menggunakan hirarki ini, masalah yang kompleks dan tidak terstruktur dapat dipilah-pilah menjadi kelompok-kelompok yang lebih kecil dan diatur dalam bentuk hirarki tertentu.[24]

Keunggulan AHP jika dibandingkan dengan metode lain adalah:[25]

1. Susunan hierarkis yang terbentuk sebagai hasil dari pilihan kriteria, mencapai subkriteria yang paling spesifik.
2. Mengakomodasi validitas hingga batas toleransi terhadap inkonsistensi antara berbagai kriteria dan alternatif yang diambil oleh pengambil keputusan.
3. Memperhitungkan ketahanan atau kestabilan hasil analisis sensitivitas dalam proses pengambilan keputusan.

Selain itu, AHP juga mampu mengatasi masalah yang melibatkan beberapa tujuan dan kriteria, dengan mempertimbangkan preferensi dari setiap elemen dalam struktur hierarkisnya. Dengan demikian, pendekatan ini menjadi suatu metode pengambilan keputusan yang holistik dan komprehensif.[26] Sistem Pendukung Keputusan (DSS), singkatan dari Decision Support Systems dalam bahasa Inggris, merupakan bagian dari sistem informasi berbasis komputer yang digunakan untuk membantu pengambilan keputusan di dalam sebuah organisasi atau perusahaan. Ini adalah sistem komputer yang mengubah data menjadi informasi untuk membantu pengambilan keputusan terkait dengan masalah semi-terstruktur yang spesifik. DSS dapat dijelaskan sebagai sistem yang mampu melakukan analisis data secara ad hoc, pemodelan keputusan, serta mendukung perencanaan masa depan dan digunakan dalam situasi yang tidak biasa.[27]

Tahapan SPK:

- Penetapan permasalahan
- Akuisisi data atau elemen informasi yang relevan
- Konversi data menjadi informasi, baik melalui laporan grafis atau teks
- Penentuan berbagai opsi solusi (dapat disajikan dalam bentuk persentase)

Tujuan dari SPK:

- Memberikan bantuan dalam menangani masalah yang tidak sepenuhnya terstruktur
 - Memberikan dukungan kepada manajer dalam membuat keputusan terkait suatu masalah
- Meningkatkan kualitas pengambilan keputusan daripada hanya mengejar efisiensi

Poin of Interest (POI)

Point of Interest (POI) merupakan lokasi spesifik yang dianggap menarik atau berguna untuk dikunjungi. POI biasanya ditandai pada peta digital dan digunakan pada aplikasi navigasi, penelusuran lokal, dan periklanan lokasi. Beberapa contoh POI antara lain restoran, kafe, tempat wisata, SPBU, rumah sakit, sekolah, tempat ibadah, dan fasilitas umum lainnya. Informasi POI sangat bermanfaat untuk banyak pihak seperti perusahaan riset pasar, penyedia layanan navigasi dan peta digital, serta pemasar produk dan layanan lokal. Saat ini banyak platform media sosial yang menyediakan fitur untuk pengguna memeriksa ke (check in) pada sebuah POI untuk berbagi lokasi dan pengalaman mereka kepada

pengikut. Data check in pada POI ini sangat berharga untuk mengetahui titik-titik yang paling sering dikunjungi oleh masyarakat di suatu wilayah. Semakin banyak jumlah check in pada sebuah POI, semakin tinggi minat masyarakat terhadap tempat tersebut.[28]

Pada penelitian dengan topik Sistem Pengambilan Keputusan Penentuan Lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) dengan Machine Learning, data POI dan check in media sosial sangat bermanfaat untuk menganalisis lokasi-lokasi yang potensial untuk dijadikan titik SPLU baru. SPLU merupakan infrastruktur pengisian daya untuk kendaraan listrik seperti mobil listrik, motor listrik, dan sepeda listrik. Penentuan lokasi SPLU yang tepat sangat vital agar pemanfaatannya menjadi optimal. Beberapa platform media sosial populer seperti TikTok, Facebook, dan Instagram menyediakan fitur bagi pengguna untuk memeriksa keberadaan mereka (check in) di suatu tempat. Dengan menggunakan teknik web scraping, data historis check in pada berbagai POI di suatu wilayah dapat diumpulkan. Semakin tinggi jumlah check in suatu POI, berarti tempat tersebut kerap dikunjungi dan diminati masyarakat.[28]

Informasi jumlah check in POI ini dapat dijadikan salah satu masukan penting pada sistem pengambilan keputusan lokasi SPLU dengan machine learning. Data check in POI dapat memberikan wawasan mengenai pola mobilitas masyarakat di suatu wilayah perkotaan. Tempat-tempat dengan check in tinggi mengindikasikan lokasi strategis yang potensial untuk dijadikan titik SPLU baru. Dengan menggabungkan data check in POI dari berbagai sumber media sosial, sistem ML dapat secara komprehensif memetakan lokasi-lokasi yang paling sering didatangi masyarakat. Pola dan cluster check in pada peta digital dianalisis untuk mengidentifikasi zona prioritas penempatan SPLU agar dapat dimanfaatkan secara optimal. Tentu saja data check in POI ini hanya salah satu masukan yang dipertimbangkan sistem ML. Masih ada data-data penting lain seperti kepadatan penduduk, akses listrik, titik kemacetan lalu lintas, dan survey langsung ke masyarakat pengguna kendaraan listrik.

Keuntungan utama dari pemanfaatan data POI dan check in dari media sosial adalah jumlah observasi yang masif dan terdistribusi luas secara geografis. Ratusan bahkan ribuan check in tercatat setiap harinya di berbagai titik di suatu wilayah kota. Volume sebesar ini sulit didapatkan hanya melalui survei lapangan terbatas. Selain itu, check in pada media sosial bersifat kontinu setiap waktu sehingga tren historis dan terkini dapat termonitor. Survei lapangan cenderung dilakukan secara temporer pada interval waktu tertentu. Data POI dan check in juga objektif karena merepresentasikan aktivitas aktual masyarakat tanpa bias yang mungkin terjadi pada survei dengan kuesioner. Kecenderungan menjawab survei sesuai ekspektasi sosial bukan hal yang jarang terjadi. Sementara check in pada media sosial mencerminkan keputusan alami pengguna tanpa ada unsur dipaksakan.

Tentu saja pemanfaatan data dari media sosial seperti ini perlu memperhatikan faktor-faktor seperti coverage demografi pengguna, keandalan geo-tagging lokasi, serta privasi individu. Namun dengan treatment data yang tepat, informasi berharga mengenai mobilitas dan minat masyarakat dapat diperoleh untuk meningkatkan akurasi sistem pengambilan keputusan berbasis ML dalam menentukan lokasi SPLU yang optimal. Kombinasi data POI dan check in media sosial dengan data spasial wilayah seperti kepadatan penduduk, tren kendaraan listrik, dan akses listrik dapat memberikan input yang komprehensif bagi algoritma ML untuk dilatih. Semakin bervariasi dan lengkap data masukan, semakin baik kualitas model ML yang dihasilkan.

Dengan demikian, data POI dan check in media sosial berpotensi menjadi salah satu komponen penting dalam penyediaan data latih bagi sistem ML untuk penentuan lokasi fasilitas publik seperti SPLU. Manfaatnya antara lain memetakan pola mobilitas masyarakat, mengidentifikasi zona strategis yang sering dikunjungi, serta melengkapi data spasial wilayah yang tersedia. Integrasi data konvensional dengan data dari tren perilaku masyarakat di media sosial ini sejalan dengan upaya memanfaatkan digital intelligence untuk perencanaan infrastruktur perkotaan yang lebih cerdas di era ekonomi digital saat ini. Ke depannya, kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan pihak industri diharapkan dapat terus meningkatkan penerapan inovasi berbasis data seperti ini untuk berbagai kasus perencanaan fasilitas umum menggunakan kekuatan artificial intelligence dan machine learning.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi yang optimal untuk Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) dengan memanfaatkan metode Machine Learning. Proses dimulai dengan mengumpulkan data dari berbagai sumber terkait, seperti Kementerian ESDM, PLN, Pemerintah Daerah, dan penyedia SPLU swasta. Data yang dikumpulkan

mencakup informasi spasial wilayah, tingkat kunjungan lokasi, serta kriteria-kriteria penting dalam penentuan lokasi SPLU. Metode AHP (Analytic Hierarchy Process) digunakan untuk menentukan bobot setiap kriteria berdasarkan pendapat para ahli dan pemangku kepentingan. Kemudian ditentukan kriteria-kriteria yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan lokasi seperti kedekatan dengan pemukiman penduduk, aksesibilitas, ketersediaan lahan, dan sebagainya. Setelah kriteria dan alternatif lokasi teridentifikasi, dilakukan perbandingan berpasangan antar kriteria dan alternatif untuk menentukan tingkat kepentingan relatifnya. Untuk menentukan kepastian pemilihan lokasi mempertimbangkan kriteria dan alternatif sebagai berikut:

Kriteria:

1. Kepadatan Kendaraan Listrik: Jumlah kendaraan listrik yang beroperasi di suatu wilayah menjadi salah satu faktor penting dalam penentuan lokasi SPLU. Semakin padat kendaraan listrik, semakin tinggi kebutuhan SPLU di wilayah tersebut.
2. Aksesibilitas: Lokasi SPLU harus mudah diakses oleh pengguna kendaraan listrik. Faktor-faktor seperti kedekatan dengan jalan raya utama, pusat keramaian, dan fasilitas umum lainnya perlu dipertimbangkan.
3. Ketersediaan Lahan: Ketersediaan lahan yang memadai untuk membangun SPLU juga menjadi pertimbangan utama. Lahan harus cukup luas untuk mengakomodasi jumlah charger dan fasilitas pendukung lainnya.
4. Ketersediaan Sumber Daya Energi: SPLU membutuhkan sumber daya energi yang stabil dan memadai untuk mengoperasikan charger. Ketersediaan jaringan listrik yang kuat dan sumber energi terbarukan seperti panel surya dapat menjadi pertimbangan.
5. Faktor Lingkungan: Dampak lingkungan dari pembangunan SPLU juga harus dipertimbangkan, seperti polusi udara, kebisingan, dan dampak visual.
6. Biaya Operasional: Biaya pembangunan, perawatan, dan operasional SPLU perlu dipertimbangkan untuk memastikan kelayakan ekonomi.

Alternatif yang dapat dipertimbangkan adalah lokasi-lokasi potensial di wilayah tertentu, seperti:

1. Aksesibilitas & Visibilitas
2. Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas
3. Proximitas dengan Fasilitas Lain
4. Dukungan Infrastruktur Listrik
5. Potensi Pasar

Perbandingan dilakukan berdasarkan judgement dari para pakar dan pihak terkait untuk menghasilkan matriks perbandingan. Nilai perbandingan kemudian diolah menggunakan AHP untuk menghasilkan bobot dan prioritas bagi setiap kriteria dan alternatif. Dalam penelitian ini, melibatkan beberapa orang pakar (expert) untuk memperoleh penilaian (judgement) yang akurat dan relevan. Jumlah pakar untuk mewawancarai minimal 5-10 orang pakar dari berbagai latar belakang yang terkait dengan penentuan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) dan machine learning. Berikut adalah beberapa pakar yang dilibatkan:

1. Pakar di bidang transportasi, khususnya yang memiliki pengetahuan tentang kendaraan listrik dan infrastruktur pendukungnya.
2. Pakar di bidang perencanaan kota atau tata ruang, yang memahami peraturan dan kebijakan terkait pembangunan fasilitas umum.
3. Pakar di bidang energi terbarukan dan jaringan listrik, yang dapat memberikan masukan tentang ketersediaan sumber daya energi untuk SPLU.
4. Pakar di bidang lingkungan, yang dapat memberikan pertimbangan tentang dampak lingkungan dari pembangunan SPLU.
5. Pakar di bidang machine learning atau kecerdasan buatan, yang dapat memberikan masukan tentang penggunaan algoritma dan teknik machine learning yang sesuai untuk permasalahan penentuan lokasi SPLU.
6. Pakar dari pemerintah atau lembaga terkait, yang memahami kebijakan dan regulasi terkait pembangunan SPLU di wilayah tertentu.

7. Pakar dari perusahaan atau operator kendaraan listrik, yang memahami kebutuhan dan preferensi pengguna kendaraan listrik.

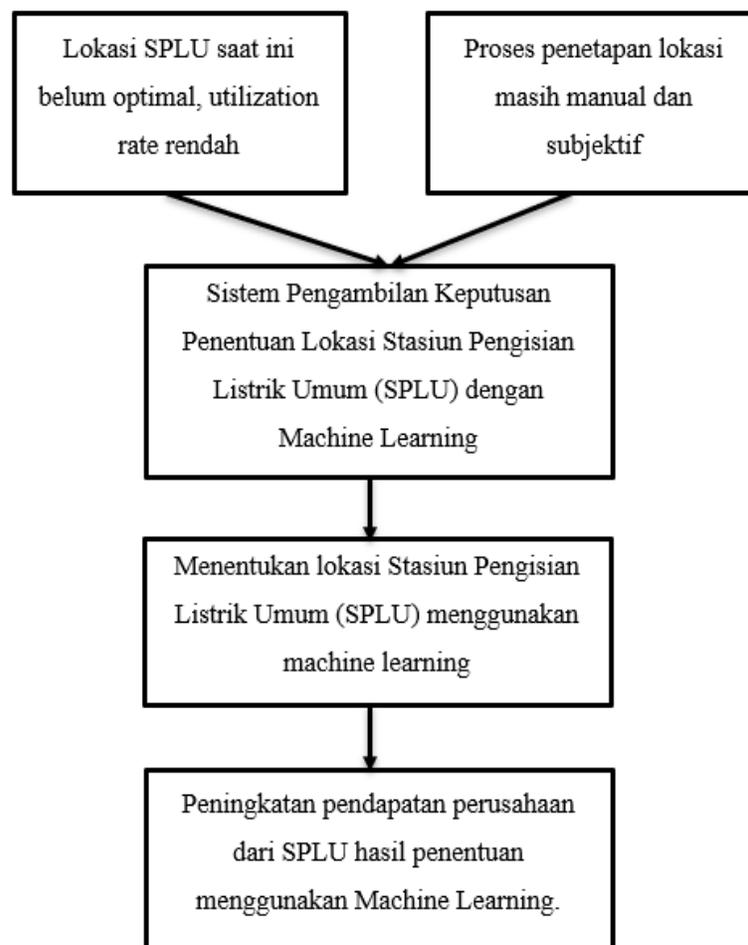
Lokasi SPLU dengan nilai prioritas tertinggi merupakan rekomendasi lokasi terbaik dari model AHP yang dibangun. Hasil rekomendasi lokasi optimal ini diharapkan dapat membantu pengambilan keputusan dalam perencanaan pembangunan SPLU.[29] Kuesioner yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kuesioner dengan metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Kuesioner AHP akan terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

- a. Bagian identitas responden (nama, instansi, jabatan, dll.)
- b. Penjelasan singkat tentang tujuan penelitian dan kriteria yang digunakan dalam penentuan lokasi SPLU.
- c. Perbandingan berpasangan (pairwise comparison) antar kriteria untuk menentukan bobot/prioritas dari setiap kriteria.
- d. Perbandingan berpasangan antar alternatif lokasi SPLU berdasarkan setiap kriteria.
- e. Bagian untuk komentar atau masukan dari responden.

Jumlah responden untuk diberikan kuesioner Analytical Hierarchy Process (AHP) adalah minimal 5-10 instansi atau lembaga yang terkait dengan penentuan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU). Instansi atau lembaga tersebut antara lain Dinas Perhubungan, Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, Dinas Lingkungan Hidup, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda), perusahaan penyedia kendaraan listrik, operator SPLU (jika ada), serta akademisi atau peneliti di bidang terkait. Untuk membandingkan pendapatan dari penentuan lokasi SPLU secara manual (sebelum menggunakan machine learning/ML) dan menggunakan ML, dapat mencari data-data berikut: data pendapatan SPLU yang sudah beroperasi sebelum menggunakan ML, data estimasi pendapatan SPLU jika lokasinya ditentukan secara manual (berdasarkan penilaian pakar atau metode lain), dan data simulasi pendapatan SPLU jika lokasinya ditentukan dengan menggunakan ML (setelah penelitian selesai). Dengan mengumpulkan data-data tersebut, dapat membandingkan pendapatan SPLU yang ditentukan lokasinya secara manual dan menggunakan ML. Hal ini akan membantu dalam mengevaluasi efektivitas penggunaan ML dalam penentuan lokasi SPLU.

Dalam menentukan lokasi berdasarkan data dari media sosial, penelitian ini menggunakan teknik web scraping untuk mengumpulkan data Points of Interest (POI) dan jumlah check-in pengguna dari platform seperti Foursquare, Instagram, dan Facebook. Data ini kemudian diintegrasikan dengan data spasial wilayah dan tingkat kunjungan lokasi lainnya.[30] Algoritma machine learning seperti decision tree dan random forest digunakan untuk menganalisis pola dari data tersebut dan menemukan lokasi-lokasi yang memiliki tingkat aktivitas sosial yang tinggi. Hal ini diasumsikan bahwa lokasi dengan aktivitas sosial yang ramai berpotensi menjadi tempat yang tepat untuk membangun SPLU karena banyak orang yang berkumpul di sekitar area tersebut. Selain itu, metode Analytic Hierarchy Process (AHP) dimanfaatkan untuk menentukan bobot setiap kriteria dalam penentuan lokasi SPLU. Para ahli dan pemangku kepentingan dilibatkan dalam pengisian kuesioner AHP untuk memberikan penilaian tingkat kepentingan setiap kriteria seperti kepadatan penduduk, aksesibilitas, kedekatan dengan fasilitas umum, dan aktivitas sosial berdasarkan data media sosial. Hasil penilaian ini kemudian diolah menggunakan matriks perbandingan berpasangan untuk menghasilkan bobot setiap kriteria. Bobot inilah yang nantinya digunakan sebagai masukan dalam proses machine learning untuk menentukan lokasi SPLU yang paling optimal dengan mempertimbangkan semua kriteria beserta bobotnya masing-masing.

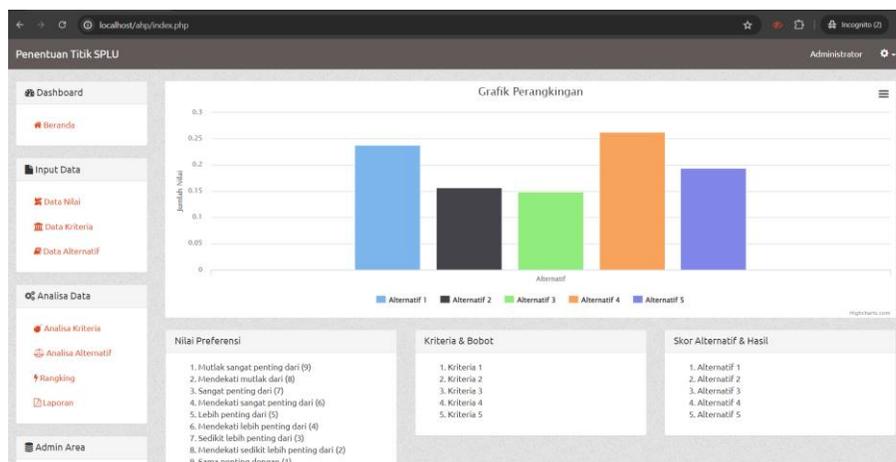
Teknik analisis data dalam penelitian ini dimulai dengan melakukan perhitungan bobot untuk setiap kriteria penentuan lokasi SPLU menggunakan metode AHP (Analytic Hierarchy Process). Matriks perbandingan berpasangan digunakan untuk mengevaluasi tingkat kepentingan setiap kriteria berdasarkan penilaian para ahli dan pemangku kepentingan. Hasil dari perhitungan ini menghasilkan bobot yang akan digunakan sebagai masukan dalam proses Machine Learning selanjutnya. Setelah bobot kriteria diperoleh, algoritma Machine Learning seperti artificial neural network, decision tree, dan random forest diaplikasikan pada data spasial, hasil survei, serta data Points of Interest (POI) dari media sosial.[31] Proses ini bertujuan untuk menganalisis pola dan menemukan lokasi-lokasi yang paling cocok untuk dijadikan Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) dengan mempertimbangkan kriteria-kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Hasil akhir dari proses ini adalah rekomendasi lokasi SPLU terbaik dengan tingkat akurasi tertinggi. Rekomendasi tersebut akan ditampilkan dalam bentuk peta digital interaktif yang dilengkapi dengan titik koordinat geografis beserta visualisasi kecocokan lokasi, mulai dari yang paling optimal hingga yang kurang optimal. Hal ini memudahkan pengambil keputusan dalam menentukan lokasi pembangunan SPLU baru secara tepat dan efisien.

KERANGKA KONSEPTUAL**Gambar 1 Kerangka Penelitian****IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

HASIL PENELITIAN

Pembangunan Sistem Pengambilan Keputusan Penentuan Lokasi SPLU

Dalam era digitalisasi dan keberlanjutan energi, pentingnya teknologi informasi dalam mendukung keputusan strategis dalam sektor energi tidak dapat diabaikan. Sejalan dengan inisiatif global dan lokal untuk meningkatkan penggunaan energi yang bersih dan berkelanjutan, Kota Ambon telah mengambil langkah progresif dengan mengintegrasikan solusi teknologi dalam proses penentuan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) menggunakan *machine learning*. Aplikasi web yang dikembangkan khusus untuk keperluan ini merupakan manifestasi dari komitmen tersebut, dimana aplikasi ini dirancang untuk memfasilitasi PT PLN (Persero) UP3 Ambon dan *stakeholder* terkait dalam membuat keputusan yang berbasis data dan analitik. Aplikasi ini menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang merupakan salah satu metode dalam *machine learning* untuk evaluasi dan pemilihan lokasi SPLU, menggabungkan prinsip-prinsip kepraktisan, efisiensi, dan partisipasi dalam satu platform berbasis web yang mudah diakses dan digunakan. Subbab ini akan menjelaskan secara mendetail proses pembangunan aplikasi ini, alasan pemilihan teknologi tertentu, serta manfaat yang diharapkan dari penggunaan aplikasi ini dalam konteks penentuan titik SPLU di Ambon.



Gambar 1. Tampilan Sistem Pengambilan Keputusan Penentuan Lokasi SPLU

Aplikasi ini, yang dibangun menggunakan PHP dengan framework Laravel terbaru, mengintegrasikan teknologi informasi dalam proses analitis menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP), memungkinkan analisis yang efektif dan efisien terhadap berbagai lokasi potensial berdasarkan serangkaian kriteria yang telah ditetapkan. Pilihan menggunakan PHP dalam pengembangan aplikasi ini didasari oleh fleksibilitas dan kemudahan integrasi yang ditawarkannya dengan berbagai sistem basis data dan server web, memberikan keleluasaan dalam deployment dan operasionalisasi aplikasi di lingkungan server yang beragam. Selain itu, penerapan framework Laravel memberikan keuntungan tambahan berupa struktur kode yang bersih dan ekspresif, yang mendukung pembuatan aplikasi yang aman dan mudah untuk dipelihara. Laravel, dengan fitur-fitur bawaannya seperti autentikasi pengguna, pengelolaan session, dan keamanan data, menjadikan framework ini pilihan yang tepat untuk membangun aplikasi yang membutuhkan pengelolaan data kompleks dan operasi database yang intensif.

Mengembangkan aplikasi dalam format web membawa sejumlah manfaat signifikan, terutama dari sisi aksesibilitas. Aplikasi web memungkinkan pengguna, termasuk tim dari PT PLN (Persero) UP3 Ambon, untuk mengakses sistem dari lokasi mana pun yang memiliki koneksi internet. Hal ini sangat penting mengingat dinamika kegiatan PLN yang mungkin memerlukan akses cepat dan fleksibel ke sistem dari berbagai lokasi. Selanjutnya, aplikasi web memudahkan proses pembaruan sistem; pembaruan dapat dilakukan secara pusat dan efektif tanpa memerlukan intervensi manual oleh pengguna, memastikan bahwa semua pihak terkini dengan fitur dan fungsionalitas terbaru. Lebih lanjut,

aplikasi ini dirancang untuk menjamin bahwa proses pemilihan lokasi SPLU dapat dijalankan dengan interaksi yang intuitif, menyediakan visualisasi data yang mempermudah pengambilan keputusan.

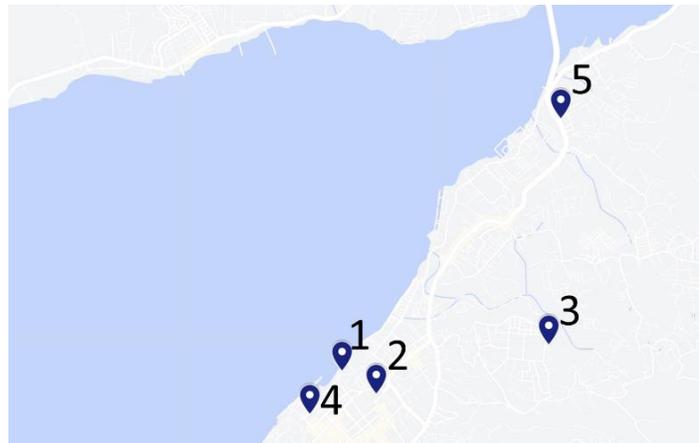
Gambar 2. Dashboard Interaktif Penentuan Lokasi SPLU

Dashboard interaktif yang dikembangkan memastikan bahwa semua stakeholder dapat dengan mudah menavigasi melalui berbagai fitur aplikasi, memungkinkan evaluasi komprehensif dari setiap alternatif lokasi. Implementasi teknologi web dalam aplikasi ini juga mendukung skalabilitas sistem, memungkinkan penyesuaian sumber daya dan kapasitas server sesuai dengan pertumbuhan penggunaan dan kompleksitas data yang diproses. Salah satu aspek penting dari sistem ini adalah kemudahannya dalam menambahkan dan mengelola kriteria serta alternatif, yang merupakan fondasi dari analisis metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang digunakan. Sistem ini dilengkapi dengan menu 'Tambah Kriteria' dan 'Tambah Alternatif' yang sangat intuitif, memungkinkan pengguna untuk dengan mudah memasukkan dan memodifikasi data yang diperlukan untuk analisis.

Tampilan ini dirancang dengan antarmuka yang sederhana namun fungsional, di mana pengguna hanya perlu mengisi form yang tersedia untuk menambahkan kriteria dan alternatif baru. Proses ini tidak memerlukan keahlian khusus dalam pemrograman atau machine learning, menjadikannya sangat aksesibel bagi siapa saja, termasuk mereka yang mungkin awam dengan teknologi informasi. Lebih lanjut, sistem ini juga menyediakan menu 'Analisis Kriteria' dan 'Analisis Alternatif' yang mengotomatiskan perhitungan kompleks yang terlibat dalam AHP. Menu ini tidak hanya mengurangi kesalahan manual yang mungkin terjadi selama perhitungan, tetapi juga menyediakan visualisasi hasil yang dapat dengan mudah dimengerti. Hal ini memungkinkan pengguna untuk melihat hasil analisis secara langsung, mendukung keputusan yang berbasis data dengan lebih efektif dan transparan.

Identifikasi Alternatif Calon Lokasi SPLU di Kota Ambon

Dalam rangka mendukung transisi ke energi bersih dan pengurangan emisi gas rumah kaca, pembangunan infrastruktur Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) di Kota Ambon menjadi krusial. Subbab ini bertujuan untuk mengidentifikasi calon lokasi SPLU yang strategis di Kota Ambon. Identifikasi ini didasarkan pada serangkaian kriteria yang meliputi aksesibilitas, visibilitas, kepadatan penduduk, serta keberadaan fasilitas pendukung lainnya. Lima lokasi yang telah terpilih sebagai calon lokasi SPLU dinilai akan memberikan dampak positif terhadap penggunaan kendaraan listrik di kota ini, serta memperluas jangkauan dan aksesibilitas fasilitas pengisian listrik bagi masyarakat.



Gambar 3. Lokasi Alternatif Calon Lokasi SPLU Ambon

Sumber: Hasil Observasi, 2024

Tabel 1. Alternatif Calon Lokasi SPLU di Kota Ambon

Alternatif	Lokasi	Koordinat GPS	Deskripsi Singkat
1	Jalan Pantai Mardika	128.1802645, - 3.691205	Arteri utama dengan akses mudah dan aktivitas komersial
2	Lapangan Mardika – Statue of Pattimura	128.1831823, - 3.6931066	Lokasi bersejarah yang aktif dengan banyak pengunjung
3	GOR Sport Hall Karang Panjang	128.1978378, - 3.688899	Pusat olahraga dengan kegiatan dan event reguler
4	Jalan Yos Sudarso	128.1774627, - 3.6948806	Jalur utama yang sering dilalui dengan aksesibilitas tinggi
5	Jalan Jenderal Sudirman	128.1988357, - 3.6697457	Kawasan bisnis dan pemerintahan dengan tingkat lalu lintas tinggi

Sumber: Hasil Observasi, 2024

1. Alternatif 1: Jalan Pantai Mardika
Alternatif pertama adalah Jalan Pantai Mardika di Ambon merupakan pilihan ideal sebagai salah satu lokasi untuk Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) karena kombinasi unik antara aksesibilitas, visibilitas, dan aktivitas yang tinggi. Analisis mendalam mengenai lokasi ini memberikan wawasan pentasi yang berarti dalam konteks pemilihan lokasi SPLU.



Gambar 4. Kondisi Alternatif 1

Sumber: Hasil Observasi, 2024

Jalan Pantai Mardika, dengan kemudahannya diakses melalui transportasi umum dan kendaraan pribadi, menawarkan akses yang mudah untuk penduduk lokal serta pengunjung. Ketersediaan berbagai pilihan transportasi memastikan bahwa SPLU akan mudah dijangkau, meningkatkan peluang digunakan secara reguler oleh pengguna kendaraan listrik. Fasilitas parkir yang memadai juga menambah nilai tambah, memungkinkan pengunjung untuk parkir dan mengisi daya kendaraan mereka dengan nyaman. Visibilitas yang tinggi dari jalan ini, ditambah dengan pemandangan pantai yang memikat, membuat lokasi ini tidak hanya fungsional tetapi juga estetis. SPLU di lokasi ini akan mudah dikenali dan menarik, seraya meningkatkan kesadaran publik tentang pentingnya teknologi pengisian kendaraan listrik.

Keindahan alam yang ditawarkan dapat menjadi daya tarik tambahan yang mendorong pengunjung untuk memilih kendaraan listrik sebagai pilihan transportasi mereka. Sebagai pusat kegiatan ekonomi, Jalan Pantai Mardika menjanjikan frekuensi penggunaan SPLU yang tinggi. Aktivitas perdagangan dan pariwisata yang berkelanjutan menciptakan permintaan stabil untuk SPLU, mendukung kebutuhan pengisian kendaraan listrik baik untuk pengunjung maupun masyarakat lokal. Jalan ini dikelilingi oleh berbagai fasilitas yang mendukung kebutuhan pengunjung, seperti kuliner, penginapan, dan fasilitas umum, yang semuanya dapat meningkatkan pengalaman pengguna SPLU. Memilih Jalan Pantai Mardika sebagai salah satu lokasi SPLU memberikan kesempatan untuk memadukan kebutuhan teknologi hijau dengan peningkatan kualitas hidup urban. Lokasi ini tidak hanya memenuhi aspek teknis dan fungsional dari SPLU, tetapi juga menyediakan konteks yang kaya untuk integrasi sosial dan budaya. Kehadiran SPLU di lokasi ini bisa menjadi bagian dari strategi kota yang lebih besar dalam mempromosikan energi bersih dan mobilitas berkelanjutan di Ambon, sekaligus memperkaya pengalaman kota bagi semua pengguna jalan.

2. Alternatif 2: Lapangan Mardika – *Statue of Pattimura*

Dalam upaya mengintegrasikan teknologi hijau dengan pengembangan pariwisata berkelanjutan di Kota Ambon, Lapangan Mardika yang terletak di dekat Statue of Pattimura menyajikan lokasi yang strategis dan simbolis untuk pemasangan Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU). Sebagai pusat kegiatan budaya dan historis yang penting, lokasi ini tidak hanya mengundang minat turis tetapi juga menjadi tempat berkumpulnya masyarakat lokal, menyediakan peluang ideal untuk menanamkan kebiasaan ramah lingkungan melalui penggunaan kendaraan listrik.



Gambar 5. Kondisi Alternatif 2

Sumber: Hasil Observasi, 2024

Lapangan Mardika, terletak di jantung kota Ambon, merupakan tempat yang sering diadakannya berbagai kegiatan nasional dan peringatan sejarah, menjadikannya salah satu lokasi yang sangat terlihat dan mudah diakses. Penempatan SPLU di lapangan ini akan mendukung pengunjung dan partisipan kegiatan yang membutuhkan pengisian kendaraan listrik mereka, menawarkan kemudahan dan kepraktisan sambil mereka menghabiskan waktu di area ini. Keberadaan SPLU di lokasi ini juga bertujuan untuk meningkatkan kesadaran akan keberlanjutan dan manfaat energi terbarukan, seraya memperkaya pengalaman pengunjung dengan menyediakan infrastruktur yang mendukung mobilitas hijau.

Dengan lokasinya yang strategis di tengah kota, Lapangan Mardika mudah dijangkau oleh berbagai kelompok masyarakat, baik pengunjung lokal maupun turis. Lokasi ini menawarkan akses yang luas dan nyaman, ideal untuk penempatan SPLU yang akan digunakan oleh orang banyak. Sebagai area yang memiliki nilai historis tinggi dan sering menjadi pusat perhatian, Lapangan Mardika menawarkan visibilitas yang luar biasa untuk SPLU. Faktor ini penting untuk mempromosikan penggunaan kendaraan listrik dan teknologi SPLU di kalangan luas. Meskipun area ini mungkin tidak sepadat wilayah komersial, keberadaan lapangan dan patung sebagai titik orientasi penting kota menarik lalu lintas pejalan kaki dan kendaraan yang konsisten, termasuk turis yang dapat menjadi pengguna potensial SPLU. Berdekatan dengan museum dan area sejarah lainnya, Lapangan Mardika menawarkan nilai tambah bagi pengunjung yang mungkin tertarik untuk mengisi daya kendaraan mereka sambil menikmati kegiatan sejarah dan budaya.

SPLU di lapangan ini ideal untuk turis yang mengunjungi untuk menikmati sejarah dan budaya lokal serta penduduk setempat yang membutuhkan pengisian cepat selama beraktivitas di area tersebut. Ini juga bisa menjadi titik strategis untuk pengguna yang mencari lokasi pengisian yang tenang dan menyenangkan. Pentingnya mengkaji ulang dan memperkuat infrastruktur pendukung seperti koneksi listrik yang andal agar SPLU dapat beroperasi tanpa hambatan dan mendukung jumlah pengunjung yang besar pada acara-acara tertentu. Penempatan SPLU di Lapangan Mardika dekat Statue of Pattimura tidak hanya akan memenuhi kebutuhan pengisian daya yang praktis tetapi juga secara proaktif berkontribusi pada pendidikan publik tentang pentingnya pelestarian lingkungan melalui teknologi ramah lingkungan. Lokasi ini, dengan aksesibilitas, visibilitas, dan nilai historis yang tinggi, diharapkan menjadi contoh integrasi sukses antara kelestarian lingkungan, teknologi, dan pelestarian budaya, mendukung Ambon dalam perjalanannya menjadi kota yang lebih hijau dan berkelanjutan.

3. Alternatif 3: GOR Sport Hall Karang Panjang

Dalam kerangka pengembangan infrastruktur yang mendukung kendaraan listrik di Kota Ambon, GOR Sport Hall Karang Panjang menawarkan lokasi yang sangat potensial untuk penempatan Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU). GOR Sport Hall Karang Panjang adalah pusat kegiatan olahraga dan sering menjadi lokasi penyelenggaraan event besar. Menempatkan SPLU di lokasi ini bertujuan untuk memaksimalkan akses pengisian bagi pengunjung yang datang menggunakan kendaraan listrik, serta menawarkan kemudahan pengisian daya bagi perangkat elektronik saat mereka terlibat dalam kegiatan olahraga atau menyaksikan pertandingan.



Gambar 6. Kondisi Alternatif 3

Sumber: Hasil Observasi, 2024

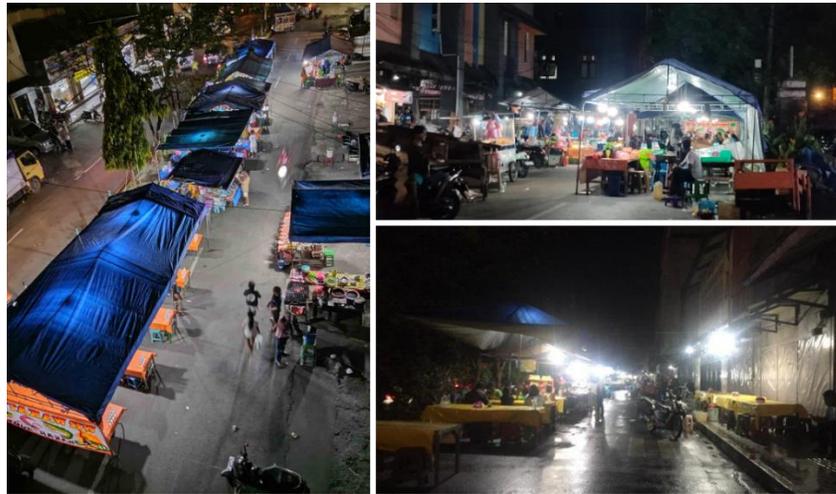
Fasilitas olahraga ini sangat mudah diakses, baik oleh penduduk setempat maupun pengunjung dari daerah lain, yang menjadikannya pilihan strategis untuk penempatan SPLU. Visibilitas yang tinggi dari lokasi ini, dikombinasikan dengan frekuensi kegiatan dan event yang tinggi, memberikan peluang yang signifikan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya teknologi pengisian listrik. Kepadatan lalu lintas yang meningkat pada hari-hari pertandingan atau saat event berlangsung menciptakan permintaan tinggi akan SPLU, yang bisa dengan efektif memenuhi kebutuhan pengisian daya bagi sejumlah besar pengunjung.

Di sisi lain, keberadaan GOR ini di area yang sering dikunjungi menawarkan sinergi yang menguntungkan dengan fasilitas olahraga lainnya. Ini memungkinkan pengunjung yang datang untuk acara dapat mengisi ulang kendaraan mereka sambil menikmati kegiatan yang berlangsung, menyediakan fasilitas yang menambah nilai tambah pada pengalaman kunjungan mereka. Lokasi ini juga sangat ideal untuk menjangkau target pengguna yang luas, termasuk pengunjung yang membutuhkan pengisian daya cepat dan penduduk setempat yang memanfaatkan fasilitas untuk berolahraga secara rutin. Pengembangan infrastruktur pendukung, seperti penguatan jaringan listrik dan peningkatan aksesibilitas, menjadi sangat penting di lokasi ini. Karena GOR sering digunakan untuk acara besar, penting untuk memastikan bahwa infrastruktur dapat menangani beban listrik tambahan yang dihasilkan oleh SPLU. Pemeriksaan dan peningkatan infrastruktur tersebut tidak hanya akan mendukung operasional SPLU tetapi juga menjamin keamanan dan keberlanjutan penggunaannya dalam jangka panjang.

Mengintegrasikan SPLU di GOR Sport Hall Karang Panjang tidak hanya akan memenuhi kebutuhan pengisian daya yang praktis tetapi juga memperkuat komitmen Kota Ambon dalam mempromosikan penggunaan kendaraan listrik. Dengan meningkatkan ketersediaan dan aksesibilitas SPLU, diharapkan dapat meningkatkan adopsi kendaraan listrik, mendukung kebijakan pemerintah dalam mengurangi emisi, dan memajukan penggunaan energi bersih. Pemasangan SPLU di lokasi ini diharapkan akan menjadi model bagi pengembangan infrastruktur serupa di lokasi strategis lainnya di kota, sekaligus menjadi bukti nyata dari upaya kota untuk mendukung teknologi hijau dan keberlanjutan lingkungan.

4. Alternatif 1: Jalan Yos Sudarso

Alternatif berikutnya adalah Jalan Yos Sudarso, sebuah arteri utama di Kota Ambon yang sering dilalui banyak kendaraan. Lokasi ini menawarkan keunggulan dalam hal aksesibilitas dan visibilitas yang tinggi. Area ini dikelilingi oleh berbagai fasilitas komersial, membuatnya menjadi tempat yang ideal untuk SPLU.



Gambar 7. Kondisi Alternatif 4

Sumber: Hasil Observasi, 2024

Dalam proses identifikasi calon lokasi SPLU yang optimal di Kota Ambon, Jalan Yos Sudarso muncul sebagai alternatif utama berkat serangkaian keunggulan strategis yang ditawarkannya. Sebagai salah satu arteri utama kota, jalan ini tidak hanya menjamin aksesibilitas yang tinggi tapi juga visibilitas yang memadai, membuatnya menjadi titik yang sangat efektif untuk menarik pengguna kendaraan listrik dan meningkatkan kesadaran publik tentang SPLU. Lokasi ini, yang terletak di pusat kegiatan komersial dan kuliner malam, dikelilingi oleh berbagai jenis usaha mulai dari toko kecil hingga restoran, sehingga menawarkan kemudahan bagi pengguna SPLU untuk melakukan aktivitas sambil mengisi ulang kendaraan mereka. Ini penting, karena pengguna dapat memanfaatkan waktu pengisian untuk berbelanja atau makan, yang meningkatkan efisiensi waktu dan pengalaman pengguna.

Dari segi kepadatan penduduk dan lalu lintas, Jalan Yos Sudarso menunjukkan potensi penggunaan SPLU yang tinggi. Kepadatan penduduk yang tinggi dan aliran lalu lintas yang stabil sepanjang hari memberikan peluang besar untuk penggunaan SPLU secara reguler, baik oleh warga setempat maupun pengunjung dari luar kota. Proximitas dengan fasilitas lain seperti pusat perbelanjaan dan area komersial lainnya juga menambah atraktivitas lokasi ini sebagai titik SPLU, memungkinkan integrasi yang mulus dari SPLU ke dalam rutinitas sehari-hari masyarakat. Dalam konteks pasar, lokasi ini sangat strategis untuk menargetkan berbagai pengguna, mulai dari pelaku UMKM atau pedagang yang memerlukan akses cepat ke listrik, hingga pengunjung yang membutuhkan pengisian daya cepat saat mereka berada dalam perjalanan. Faktor-faktor ini menjadikan Jalan Yos Sudarso tidak hanya sebagai lokasi yang praktis tetapi juga sebagai pusat pengisian listrik yang potensial yang dapat mendorong adopsi kendaraan listrik lebih lanjut di Ambon.

Pengembangan infrastruktur pendukung seperti peningkatan ketersediaan jaringan listrik yang memadai dan perbaikan kondisi jalan sekitarnya akan menjadi langkah penting berikutnya. Analisis teknis lebih lanjut mengenai kelayakan infrastruktur adalah krusial untuk memastikan bahwa SPLU dapat diintegrasikan secara efektif dan berkelanjutan di lokasi ini. Melalui pendekatan yang holistik dan pertimbangan yang mendalam tentang berbagai aspek seperti aksesibilitas, visibilitas, kepadatan penduduk, dan sinergi dengan fasilitas lain, Jalan Yos Sudarso menawarkan sebuah model ideal bagi penyebaran SPLU di wilayah urban yang dinamis.

5. Alternatif 5: Jalan Jenderal Sudirman

Jalan Jenderal Sudirman, sebagai salah satu arteri utama di Kota Ambon, menawarkan prospek yang sangat baik sebagai lokasi untuk Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU). Karena sifatnya yang strategis dan multifungsi, jalan ini memenuhi berbagai kriteria yang diinginkan untuk penempatan infrastruktur pengisian kendaraan listrik.



Gambar 8. Kondisi Alternatif 5

Sumber: Hasil Observasi, 2024

Jalan Jenderal Sudirman, dengan infrastruktur transportasi yang mapan dan pilihan transportasi umum yang beragam, menjamin kemudahan akses yang krusial untuk kesuksesan SPLU. Ketersediaan halte bus dan lokasi yang strategis di pusat kota memudahkan akses bagi pengendara kendaraan listrik dari berbagai area sekitarnya. Lokasi ini tidak hanya sebagai pusat aktivitas ekonomi dengan kehadiran berbagai pusat perbelanjaan dan kantor, tetapi juga sebagai pusat kegiatan sosial dan budaya. Ini menyediakan aliran konstan pengunjung yang potensial sebagai pengguna SPLU, dari para pekerja harian hingga pengunjung yang datang untuk kegiatan wisata dan belanja. Dengan berbagai fasilitas seperti rumah sakit, pusat perbelanjaan, dan taman kota di sekitarnya, Jalan Jenderal Sudirman tidak hanya menawarkan kemudahan pengisian daya tetapi juga meningkatkan kenyamanan bagi pengguna kendaraan listrik maupun mengisi daya alat elektronik lainnya untuk melakukan kegiatan lain selama proses pengisian daya.

Kemungkinan pengembangan lebih lanjut, seperti peningkatan infrastruktur jalan dan pembangunan pedestrian, menunjukkan potensi masa depan yang bisa lebih mendukung keberadaan SPLU. Hal ini sejalan dengan tujuan pemerintah untuk mengintegrasikan teknologi ramah lingkungan dalam pengembangan urban. Pengembangan Jalan Jenderal Sudirman sebagai kawasan wisata dengan fasilitas pedestrian yang nyaman dan berbagai aktivitas wisata menawarkan peluang unik untuk integrasi SPLU. Dengan semua aspek ini, Jalan Jenderal Sudirman menjanjikan sebagai lokasi yang sangat strategis untuk SPLU, mendukung mobilitas hijau dan upaya pelestarian lingkungan di Kota Ambon. Pengembangan SPLU di lokasi ini tidak hanya akan memenuhi kebutuhan energi untuk kendaraan listrik tetapi juga akan menjadi bagian penting dari transformasi kota menuju sistem transportasi yang lebih berkelanjutan.

PEMBAHASAN

Analisis Perbandingan Berpasangan untuk Penentuan Lokasi SPLU

Dalam proses penentuan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) di Kota Ambon, matriks perbandingan berpasangan memegang peran kunci dalam membantu mengevaluasi dan membandingkan potensi setiap alternatif lokasi berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Matriks ini merupakan alat dasar dalam metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang digunakan untuk menilai dan mengurutkan alternatif berdasarkan prioritasnya. Setiap lokasi ini dinilai berdasarkan kriteria seperti aksesibilitas & visibilitas, kepadatan penduduk & lalu lintas, proximitas dengan fasilitas lain,

dukungan infrastruktur listrik, dan potensi pasar. Dalam matriks, skor perbandingan disusun dimana nilai numerik memberikan gambaran relatif pentingnya satu alternatif dibandingkan dengan alternatif lain dalam konteks kriteria tertentu.

Tabel 2. Perbandingan Berpasangan Dengan Masing-Masing Kriteria

Kriteria	Kriteria 1	Kriteria 2	Kriteria 3	Kriteria 4	Kriteria 5
Kriteria 1	1	9,000	9,000	9,000	9,000
Kriteria 2	0,111	1	9,000	9,000	9,000
Kriteria 3	0,111	0,111	1	9,000	9,000
Kriteria 4	0,111	0,111	0,111	1	9,000
Kriteria 5	0,111	0,111	0,111	0,111	1
Jumlah	1,444	10,333	19,222	28,111	37,000

Sumber: Data Primer yang Diolah, 2024

Proses pengisian matriks ini melibatkan evaluasi komparatif di mana setiap kriteria dibandingkan dengan kriteria lainnya dalam skala yang telah ditetapkan dari 1 hingga 9, di mana 1 berarti dua alternatif memiliki kepentingan yang sama terhadap kriteria yang sedang dinilai, dan 9 menyatakan bahwa satu kriteria memiliki kepentingan yang mutlak lebih tinggi dibandingkan kriteria lainnya. Matriks yang telah diisi mengungkapkan bahwa kriteria 1 yakni aksesibilitas dan visibilitas mendapatkan nilai tertinggi secara konsisten melawan alternatif lainnya, menunjukkan keunggulan yang signifikan dari calon lokasi ini dalam semua aspek yang dievaluasi. Dalam menginterpretasikan matriks ini, langkah selanjutnya adalah menghitung bobot prioritas untuk setiap kriteria dengan mengkonversi nilai-nilai dalam matriks menjadi bobot yang normalisasi. Hal ini dilakukan dengan menghitung eigenvektor dari matriks, yang memberikan bobot relatif yang dapat digunakan untuk menilai masing-masing kriteria secara keseluruhan. Hasil dari perhitungan ini memberikan panduan yang jelas mengenai calon lokasi yang paling menguntungkan untuk pengembangan SPLU berdasarkan kriteria yang dianggap penting.

Tabel 3. Perbandingan Berpasangan Dengan Masing-Masing Kriteria

Perbandingan	Kriteria 1	Kriteria 2	Kriteria 3	Kriteria 4	Kriteria 5	Bobot
Kriteria 1	0,692	0,871	0,468	0,320	0,243	0,519
Kriteria 2	0,077	0,097	0,468	0,320	0,243	0,241
Kriteria 3	0,077	0,011	0,052	0,320	0,243	0,141
Kriteria 4	0,077	0,011	0,006	0,036	0,243	0,074
Kriteria 5	0,077	0,011	0,006	0,004	0,027	0,025
Jumlah	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Sumber: Data Primer yang Diolah, 2024

Dalam proses penentuan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) di Kota Ambon, analisis perbandingan berpasangan antarkriteria menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah langkah esensial untuk memastikan bahwa keputusan yang diambil berdasarkan pertimbangan yang matang dan terukur. Tabel yang menampilkan nilai eigen dari masing-masing kriteria ini tidak hanya memberikan bobot numerik yang mencerminkan pentingnya setiap kriteria terhadap keputusan lokasi, tetapi juga menggambarkan hubungan relatif antar kriteria tersebut, memungkinkan pengambil keputusan untuk memahami dinamika kompleks yang terlibat dalam pemilihan lokasi SPLU. Bobot yang diperoleh dari tabel ini, dengan Kriteria 1 yang mencakup Aksesibilitas dan Visibilitas mendapatkan bobot tertinggi (0,519), mengindikasikan bahwa faktor ini dianggap paling kritis dalam memilih lokasi SPLU.

Hal ini menunjukkan bahwa lokasi yang mudah diakses dan terlihat oleh publik lebih diutamakan, mengingat ini dapat meningkatkan penggunaan SPLU serta mempercepat adopsi kendaraan listrik di kota tersebut. Sebaliknya, Kriteria 5 yang berkaitan dengan Potensi Pasar memiliki bobot paling rendah (0,025), menandakan bahwa faktor ini, sementara

masih relevan, dianggap kurang penting dalam konteks saat ini dibandingkan dengan aksesibilitas atau dukungan infrastruktur. Penyusunan dan interpretasi tabel perbandingan berpasangan ini juga melibatkan evaluasi kepadatan penduduk dan lalu lintas (Kriteria 2) serta proximitas dengan fasilitas lain (Kriteria 3), yang keduanya memiliki bobot signifikan yang menunjukkan pentingnya lokasi SPLU dalam konteks interaksi sosial dan keberadaannya dalam jaringan fasilitas publik. Bobot untuk Kriteria 4, yang menyangkut Dukungan Infrastruktur Listrik, juga menyoroti kebutuhan untuk infrastruktur pendukung yang kuat, yang esensial untuk operasional SPLU yang efisien dan efektif.

Analisis Pembobotan dan Perankingan dalam Penentuan Titik SPLU berbasis Machine Learning

Dalam pengembangan sistem pendukung keputusan untuk penentuan titik Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP), sebuah tahapan krusial adalah pembobotan dan perankingan yang menentukan prioritas antar alternatif berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Proses ini dilakukan secara sistematis dan transparan melalui aplikasi berbasis web yang telah dikembangkan, memungkinkan analisis yang efisien dan akurat. Pembobotan dalam AHP dilakukan dengan mengassign bobot pada setiap kriteria yang mencerminkan pentingnya relatif terhadap tujuan akhir, yaitu penentuan lokasi SPLU yang optimal.

Tabel 4. Hasil Pembobotan Kriteria terhadap Alternatif

	Kriteria 1	Kriteria 2	Kriteria 3	Kriteria 4	Kriteria 5
Alternatif 1	0,268	0,196	0,225	0,196	0,196
Alternatif 2	0,172	0,149	0,117	0,149	0,149
Alternatif 3	0,152	0,146	0,144	0,146	0,146
Alternatif 4	0,258	0,278	0,244	0,278	0,278
Alternatif 5	0,150	0,231	0,269	0,231	0,231
Bobot	0,519	0,241	0,141	0,074	0,025
Jumlah	1	1	1	1	1

Hasil pembobotan yang dihasilkan dari aplikasi web yang dikembangkan dan ditunjukkan pada Tabel 4 menunjukkan distribusi bobot sebagai berikut:

- Kriteria 1 (Aksesibilitas & Visibilitas): Mendapatkan bobot tertinggi sebesar 0,5189, menunjukkan bahwa faktor ini adalah yang paling berpengaruh dalam penentuan lokasi. Ini menunjukkan pentingnya lokasi SPLU yang mudah diakses dan terlihat oleh masyarakat untuk meningkatkan penggunaan dan efektivitas SPLU.
- Kriteria 2 (Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas): Diberikan bobot sebesar 0,2410, yang mencerminkan pentingnya lokasi SPLU di daerah dengan kepadatan penduduk dan lalu lintas tinggi untuk memaksimalkan jangkauan dan aksesibilitas.
- Kriteria 5 (Potensi Pasar): Menerima bobot terendah yaitu 0,0249, menandakan bahwa faktor ini memiliki pengaruh paling rendah dalam keputusan lokasi dibandingkan dengan kriteria lainnya, tetapi tetap relevan dalam konteks keseluruhan strategi pemasaran dan pengembangan SPLU.

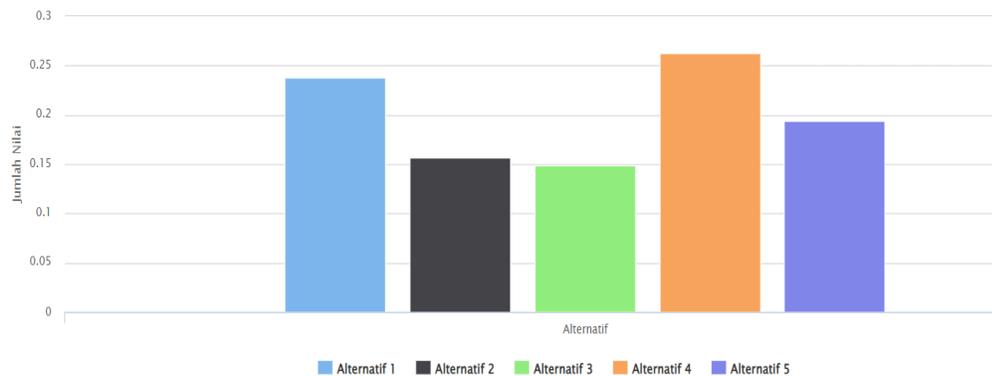
Pembobotan untuk masing-masing alternatif menunjukkan bagaimana setiap lokasi memenuhi kriteria yang telah ditetapkan. Terlihat bahwa Alternatif 1 dan 4 yang menonjol dalam memenuhi Kriteria 1, menunjukkan lokasi ini sebagai pilihan yang sangat baik berdasarkan aksesibilitas dan visibilitas. Serta Alternatif 5 yang memiliki skor tinggi di Kriteria 5, menunjukkan lokasi ini memiliki potensi pasar yang signifikan meskipun secara keseluruhan memiliki pengaruh lebih rendah. Tahapan selanjutnya proses perankingan yang dalam sistem ini merupakan tahapan vital yang menggabungkan analisis komprehensif terhadap berbagai kriteria yang telah ditetapkan dengan evaluasi dari alternatif lokasi yang tersedia. Tahapan ini adalah proses penutup yang menyatukan semua aspek analisis sebelumnya untuk menghasilkan rekomendasi yang berdasarkan data dan objektif.

Tabel 5. Hasil Perankingan Alternatif Calon Titik Lokasi SPLU

	Kriteria 1	Kriteria 2	Kriteria 3	Kriteria 4	Kriteria 5	Hasil
Alternatif 1	0,139	0,047	0,032	0,015	0,005	0,238

Alternatif 2	0,089	0,036	0,017	0,011	0,004	0,156
Alternatif 3	0,079	0,035	0,020	0,011	0,004	0,149
Alternatif 4	0,134	0,067	0,034	0,021	0,007	0,263
Alternatif 5	0,078	0,056	0,038	0,017	0,006	0,194
Jumlah	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Sumber: Data Primer yang Diolah, 2024



Gambar 9. Grafik Hasil Penilaian Alternatif Calon Titik Lokasi SPLU

Sumber: Data Primer yang Diolah, 2024

Proses perankingan dilaksanakan melalui metodologi yang sistematis, di mana bobot setiap kriteria—yang mencerminkan pentingnya relatif sesuai dengan tujuan strategis pembangunan SPLU—dikalikan dengan penilaian masing-masing alternatif terhadap kriteria tersebut. Setiap kriteria seperti Aksesibilitas & Visibilitas, Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas, dan Potensi Pasar, mendapatkan penilaian berdasarkan data yang relevan, yang kemudian diintegrasikan untuk menghasilkan skor komprehensif. Berdasarkan hasil yang dihasilkan oleh aplikasi, Alternatif 4 mencatat skor tertinggi, yang menunjukkan lokasi ini sebagai pilihan teroptimal berdasarkan kriteria yang ditetapkan. Lokasi ini secara khusus menonjol dalam Kriteria Kepadatan Penduduk dan Lalu Lintas serta Proximitas dengan Fasilitas Lain—faktor-faktor yang sangat penting dalam mendukung keberhasilan dan penggunaan SPLU. Sebaliknya, Alternatif 1 juga menunjukkan hasil yang kuat, terutama dalam kriteria Aksesibilitas & Visibilitas, yang menekankan pentingnya mudah diakses dan terlihat oleh masyarakat luas sebagai kunci untuk meningkatkan kesadaran dan penggunaan fasilitas SPLU.

Hasil perankingan ini bukan hanya merefleksikan kondisi aktual dari setiap alternatif lokasi, tetapi juga membantu *stakeholder*, khususnya PT PLN (Persero) UP3 Ambon, dalam membuat keputusan berdasarkan analisis yang mendalam dan data yang objektif. Keputusan yang diambil berdasarkan hasil perankingan ini akan mempengaruhi keberhasilan implementasi SPLU, yang pada gilirannya mendukung inisiatif penggunaan listrik dan berkontribusi pada pengembangan UMKM kaki lima di kota. Oleh karena itu, proses ini tidak hanya tentang memilih lokasi yang paling efektif tetapi juga tentang memastikan bahwa pilihan tersebut sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan dan kebijakan energi bersih. Proses perankingan ini memperlihatkan bagaimana pemanfaatan teknologi informasi dalam pengambilan keputusan strategis dapat meningkatkan akurasi dan efektivitas kebijakan publik. Integrasi data yang komprehensif dan analisis objektif melalui sistem berbasis web ini tidak hanya memudahkan pengambilan keputusan yang kompleks tetapi juga menjamin transparansi dan keadilan dalam prosesnya.

Analisis Penilaian dan Pemilihan Titik SPLU berbasis Machine Learning

Dalam proses perencanaan dan pengembangan infrastruktur Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) di Kota Ambon, pemilihan lokasi yang strategis dan efektif merupakan faktor kunci yang mempengaruhi keberhasilan implementasi dan adopsi kendaraan listrik di masa depan. Analisis penilaian titik SPLU dilakukan menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP), yang bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi paling potensial berdasarkan

serangkaian kriteria yang telah ditetapkan. Analisis ini mendalami hasil perankingan lima lokasi alternatif yang telah dipertimbangkan sebagai calon titik SPLU. Masing-masing alternatif dinilai berdasarkan lima kriteria utama: Aksesibilitas & Visibilitas, Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas, Proximitas dengan Fasilitas Lain, Dukungan Infrastruktur Listrik, dan Potensi Pasar.

Penilaian ini tidak hanya mengungkapkan keunggulan dan kekurangan masing-masing lokasi tetapi juga memberikan wawasan mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi keefektifan lokasi SPLU. Analisis ini penting untuk memastikan bahwa keputusan lokasi SPLU dapat mendukung peningkatan penggunaan kendaraan listrik di Ambon, sekaligus memperkuat infrastruktur pengisian daya yang ada. Dengan menilai setiap alternatif secara komprehensif, stakeholders, termasuk PT PLN (Persero) UP3 Ambon, dapat membuat keputusan yang lebih informatif dan berkelanjutan dalam merencanakan pengembangan SPLU yang sesuai dengan kebutuhan

1. Peringkat Pertama: Alternatif 4 (Jalan Yos Sudarso)

Alternatif 4, yang mencakup area Jalan Yos Sudarso di Kota Ambon, menempati posisi teratas dalam perankingan AHP untuk lokasi SPLU, berkat sejumlah faktor kunci yang menguntungkan penempatannya. Keberhasilan ini tidak terlepas dari penilaian yang sangat positif atas berbagai kriteria yang telah ditetapkan, yaitu Aksesibilitas & Visibilitas, Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas, Proximitas dengan Fasilitas Lain, Dukungan Infrastruktur Listrik, dan Potensi Pasar. Jalan ini dikenal sebagai salah satu arteri utama kota, menawarkan aksesibilitas yang sangat baik dan tingkat visibilitas yang tinggi, keduanya adalah kriteria penting dalam penilaian ini. Jalan Yos Sudarso merupakan salah satu arteri utama di Kota Ambon yang memiliki aksesibilitas yang luar biasa tinggi, baik untuk kendaraan pribadi maupun transportasi umum. Hal ini memberikan nilai tambah yang signifikan terhadap kriteria Aksesibilitas & Visibilitas. Jalan ini terkenal akan kemudahannya dijangkau dan dikenal luas, yang menjamin SPLU yang ditempatkan di sana akan mudah ditemukan dan diakses oleh pengguna potensial. Visibilitas yang tinggi dari jalan ini juga berkontribusi pada penerimaan dan penggunaan SPLU oleh masyarakat. Dari aspek Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas, Jalan Yos Sudarso juga menunjukkan skor yang tinggi karena lokasinya yang strategis di tengah kota.

Hal ini berarti terjadi aliran lalu lintas yang konsisten dan tinggi, baik dari penduduk setempat maupun pengunjung kota, yang menciptakan permintaan tinggi akan fasilitas pengisian listrik. Tingginya volume lalu lintas ini menjamin bahwa SPLU akan memiliki tingkat penggunaan yang optimal. Mengenai Proximitas dengan Fasilitas Lain, Jalan Yos Sudarso dikelilingi oleh berbagai fasilitas umum dan komersial, termasuk pusat perbelanjaan, restoran, dan kantor pemerintah. Proximitas ini sangat penting karena memungkinkan pengguna SPLU untuk melakukan kegiatan lain sambil mengisi ulang kendaraan mereka, meningkatkan efisiensi dan kenyamanan penggunaan SPLU. Dalam hal Dukungan Infrastruktur Listrik, Jalan Yos Sudarso memiliki infrastruktur yang sudah terintegrasi dengan baik, yang merupakan faktor penting untuk mendukung operasi SPLU.

Ketersediaan sumber daya listrik yang stabil dan andal adalah kunci untuk keberhasilan pemasangan dan operasional SPLU, dan lokasi ini sudah terbukti memenuhi kriteria tersebut. Mengenai Potensi Pasar, Jalan Yos Sudarso menawarkan potensi yang besar karena tingginya aktivitas komersial dan kepadatan penduduk di area tersebut. Potensi pasar yang tinggi ini menunjukkan bahwa akan ada permintaan yang berkelanjutan dan meningkat untuk pengisian kendaraan listrik, yang membuat investasi dalam SPLU di lokasi ini menjadi sangat berharga. Selain itu, jalan ini menyediakan infrastruktur lalu lintas yang baik, termasuk lebar jalan dan ketersediaan parkir yang cukup, yang mendukung aliran kendaraan yang lancar dan akses cepat ke stasiun pengisian. Visibilitas jalan ini juga merupakan faktor kunci lainnya. Sebagai salah satu jalan utama di Ambon, Jalan Yos Sudarso selalu ramai, yang menjamin bahwa SPLU yang ditempatkan di sini akan mendapatkan eksposur maksimal. Hal ini penting tidak hanya untuk kegunaan langsung stasiun pengisian, tetapi juga untuk meningkatkan kesadaran publik mengenai kendaraan listrik dan infrastruktur pendukungnya. Kriteria ketiga yang berpengaruh dalam penilaian ini adalah kepadatan penduduk dan lalu lintas di sekitar Jalan Yos Sudarso.

Dengan populasi dan kepadatan lalu lintas yang tinggi di area ini, potensi untuk penggunaan SPLU secara reguler menjadi sangat tinggi. Hal ini menjamin bahwa investasi dalam SPLU akan dimanfaatkan

seoptimal mungkin, yang merupakan aspek krusial dalam perencanaan infrastruktur berkelanjutan. Selain itu, Jalan Yos Sudarso berdekatan dengan berbagai fasilitas penting, termasuk pusat perbelanjaan, tempat-tempat makan, dan fasilitas umum lainnya. Proximitas ini tidak hanya memudahkan mereka yang membutuhkan pengisian daya kendaraan secara cepat tetapi juga meningkatkan kemungkinan SPLU untuk dijadikan sebagai bagian dari rutinitas harian pengendara dan pejalan kaki. Dengan mempertimbangkan semua faktor ini, Jalan Yos Sudarso muncul sebagai lokasi yang sangat cocok untuk pengembangan SPLU. Kombinasi aksesibilitas, visibilitas, kepadatan lalu lintas yang tinggi, serta ketersediaan fasilitas lain di sekitarnya menjadikan alternatif ini pilihan terbaik dalam analisis AHP. Ini menegaskan bahwa lokasi ini tidak hanya memenuhi kebutuhan praktis pengisian peralatan listrik tetapi juga berkontribusi pada tujuan jangka panjang peningkatan penggunaan peralatan listrik dan pengembangan UMKM kaki lima di Kota Ambon.

2. Peringkat Kedua: Alternatif 1 (Jalan Pantai Mardika)

Alternatif 1, Jalan Pantai Mardika di Kota Ambon, menduduki posisi kedua dalam analisis AHP untuk penentuan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU). Alasan utama untuk posisi ini terletak pada performa yang sangat baik melalui berbagai kriteria yang telah ditetapkan: Aksesibilitas & Visibilitas, Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas, Proximitas dengan Fasilitas Lain, Dukungan Infrastruktur Listrik, dan Potensi Pasar. Jalan Pantai Mardika merupakan lokasi yang strategis karena menghubungkan beberapa area penting di Ambon dan terletak langsung di tepi pantai, yang membuatnya sangat mudah diakses dan memiliki visibilitas yang tinggi. Aksesibilitas yang tinggi ini sangat mendukung kriteria Aksesibilitas & Visibilitas, memastikan bahwa SPLU yang ditempatkan di sana mudah ditemukan dan digunakan oleh masyarakat umum maupun pengunjung kota.

Visibilitas tinggi dari lokasi ini juga penting untuk meningkatkan kesadaran publik tentang keberadaan dan manfaat SPLU. Dalam aspek Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas, Jalan Pantai Mardika mengalami kunjungan yang tinggi, baik oleh penduduk lokal maupun turis yang tertarik dengan pantai dan kegiatan di sekitarnya. Kepadatan ini menciptakan permintaan yang stabil untuk pengisian energi, menandakan kebutuhan yang kuat akan infrastruktur pengisian kendaraan listrik yang dapat diandalkan. Mengenai Proximitas dengan Fasilitas Lain, lokasi ini memiliki keuntungan karena berdekatan dengan berbagai fasilitas rekreasi, kuliner, dan komersial. Proximitas ini memungkinkan pengguna SPLU melakukan aktivitas lain sambil mengisi ulang kendaraan mereka, yang menambah nilai pengalaman pengguna dan potensi trafik yang lebih tinggi ke SPLU.

Dari segi Dukungan Infrastruktur Listrik, Jalan Pantai Mardika telah dilengkapi dengan infrastruktur listrik yang memadai, yang vital untuk operasional SPLU yang efektif. Stabilitas dan keandalan sumber daya listrik di lokasi ini adalah faktor kunci yang mendukung penempatan SPLU. Terakhir, untuk Potensi Pasar, Jalan Pantai Mardika menawarkan potensi yang signifikan karena popularitasnya di kalangan wisatawan dan masyarakat lokal. Aktivitas komersial yang ramai serta kepadatan pengunjung memberikan dasar yang solid untuk adopsi kendaraan listrik dan penggunaan SPLU secara rutin. Dengan mempertimbangkan semua faktor ini, Jalan Pantai Mardika dinilai sebagai lokasi yang sangat menjanjikan untuk pemasangan SPLU.

3. Peringkat Ketiga: Alternatif 5 (Jalan Jenderal Sudirman)

Alternatif 5, Jalan Jenderal Sudirman di Kota Ambon, menempati posisi ketiga dalam analisis AHP kami untuk penentuan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU). Alasan utama posisi ini adalah karena kekuatan dan kelemahan yang inheren pada lokasi ini terkait dengan kriteria yang telah ditetapkan: Aksesibilitas & Visibilitas, Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas, Proximitas dengan Fasilitas Lain, Dukungan Infrastruktur Listrik, dan Potensi Pasar. Jalan Jenderal Sudirman adalah jalan utama di Ambon yang sering dilalui banyak kendaraan dan pejalan kaki, memastikan aksesibilitas yang tinggi yang penting untuk kriteria Aksesibilitas & Visibilitas. Selain itu, jalan ini memiliki visibilitas yang baik karena merupakan jalan utama yang menghubungkan berbagai bagian kota. Namun, jika dibandingkan dengan alternatif di atasnya, Jalan Jenderal Sudirman mungkin tidak menyediakan pemandangan yang sama menariknya atau suasana yang unik seperti yang ditawarkan oleh lokasi pantai atau area bersejarah, sehingga mungkin kurang menarik secara estetika untuk beberapa pengunjung.

Dalam hal Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas, Jalan Jenderal Sudirman menunjukkan tingkat yang tinggi, yang seharusnya mendukung penggunaan SPLU. Namun, kepadatan lalu lintas yang tinggi sering kali menyebabkan kemacetan, yang bisa mengurangi efisiensi SPLU jika pengguna kendaraan listrik terjebak dalam kemacetan dan tidak dapat mencapai SPLU dengan mudah. Meskipun demikian, tingkat kepadatan ini tetap menunjukkan potensi pasar yang besar untuk pengguna SPLU. Mengenai Proximitas dengan Fasilitas Lain, Jalan Jenderal Sudirman dikelilingi oleh banyak fasilitas penting seperti pusat perbelanjaan, restoran, dan kantor pemerintahan, yang semuanya dapat meningkatkan atraktivitas SPLU. Namun, lokasi ini mungkin tidak menawarkan kombinasi unik antara kegiatan rekreasi dan fasilitas yang tersedia di lokasi pantai atau area historis, yang bisa menambah nilai lebih bagi pengunjung yang mengisi daya. Dari segi Dukungan Infrastruktur Listrik, jalan ini dilayani dengan baik oleh infrastruktur kota, namun tantangan tetap ada dalam mengelola beban listrik yang tinggi dari area komersial yang padat, yang mungkin membutuhkan investasi lebih lanjut untuk meningkatkan kapasitas jaringan.

Terakhir, dalam hal Potensi Pasar, Jalan Jenderal Sudirman memiliki potensi yang signifikan karena jumlah besar pengguna jalan dan bisnis di sekitarnya. Lokasi ini menjanjikan dari sisi volume pengguna potensial SPLU, namun tantangan untuk menarik perhatian dan mendorong penggunaan SPLU mungkin lebih besar dibandingkan dengan lokasi yang lebih khusus dan unik seperti Jalan Pantai Mardika. Secara keseluruhan, sementara Jalan Jenderal Sudirman memiliki keunggulan signifikan yang mendukung peringkat ketiga, lokasi ini mungkin tidak menawarkan aspek unik atau suasana khusus yang sama yang bisa diberikan oleh alternatif yang lebih tinggi peringkatnya. Namun, dengan infrastruktur yang baik dan lokasi strategis di pusat kota, Jalan Jenderal Sudirman tetap menjadi kandidat yang sangat kompetitif untuk pengembangan SPLU, menjanjikan penggunaan yang tinggi dan integrasi yang efektif dengan kegiatan kota.

4. Peringkat Keempat: Alternatif 2 (Lapangan Mardika – *Statue of Pattimura*)

Alternatif 2, Lapangan Mardika – *Statue of Pattimura*, menduduki peringkat keempat dalam perankingan AHP untuk lokasi SPLU di Kota Ambon. Penilaian ini berlandaskan pada lima kriteria yang telah ditetapkan: Aksesibilitas & Visibilitas, Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas, Proximitas dengan Fasilitas Lain, Dukungan Infrastruktur Listrik, dan Potensi Pasar. Lapangan Mardika, berada di lokasi yang sangat strategis dan memiliki nilai historis, memberikan aksesibilitas yang baik karena letaknya yang sentral dan mudah dijangkau oleh kendaraan serta pejalan kaki. Lokasi ini memiliki visibilitas yang tinggi sebagai area yang sering dijadikan tempat untuk event budaya dan sejarah, menarik banyak pengunjung baik lokal maupun turis. Namun, jika dibandingkan dengan alternatif seperti Jalan Yos Sudarso yang berada di pusat komersial atau Jalan Jenderal Sudirman sebagai jantung ekonomi kota, Lapangan Mardika mungkin kurang menawarkan frekuensi kunjungan harian yang tinggi, yang bisa mempengaruhi efektivitas SPLU dalam hal eksposur dan penggunaan sehari-hari. Lapangan Mardika menarik banyak orang selama acara khusus, namun pada hari-hari biasa, kepadatan penduduk dan lalu lintas tidak seintens area-area komersial seperti Jalan Jenderal Sudirman. Ini bisa menjadi kelemahan karena potensi penggunaan SPLU sehari-hari mungkin lebih rendah dibandingkan dengan lokasi yang lebih sibuk. Keunggulan Lapangan Mardika terletak pada dekatnya dengan berbagai fasilitas penting seperti museum dan tempat-tempat sejarah lain yang menambah nilai edukasi dan rekreasi.

Namun, jika dibandingkan dengan GOR Sport Hall Karang Panjang yang menjadi pusat kegiatan olahraga, Lapangan Mardika mungkin kurang menawarkan kegiatan serbaguna yang dapat menarik pengunjung SPLU secara konsisten. Meski berada di lokasi yang strategis, infrastruktur listrik di sekitar Lapangan Mardika mungkin memerlukan peningkatan untuk mendukung pemasangan dan operasional SPLU, terutama jika dibandingkan dengan infrastruktur yang sudah mapan di jalan-jalan utama seperti Jalan Yos Sudarso. Lapangan Mardika memiliki potensi pasar yang unik selama acara dan festival, memberikan kesempatan untuk edukasi dan promosi SPLU kepada audiens yang besar dan beragam. Namun, pada hari-hari tanpa event, potensi pasar ini mungkin tidak sekuat di lokasi yang memiliki lalu lintas harian tinggi seperti Jalan Yos Sudarso atau Jalan Jenderal Sudirman. Secara keseluruhan, sementara Lapangan Mardika – *Statue of Pattimura* memiliki keunggulan dalam hal lokasi strategis dan nilai historis yang tinggi, kelemahan dalam kepadatan sehari-hari dan

ketergantungan pada event membuatnya kurang optimal dibandingkan alternatif yang lebih tinggi peringkatnya. Namun, keunikannya sebagai lokasi bersejarah dengan potensi untuk menarik perhatian besar selama event khusus tetap menjadikannya kandidat yang berharga dalam konteks penyebaran teknologi SPLU dalam mendorong kesadaran dan penggunaan energi berkelanjutan di Ambon.

5. Peringkat Kelima: Alternatif 3 (GOR Sport Hall Karang Panjang)

Alternatif 3, GOR Sport Hall Karang Panjang, berada pada peringkat terakhir dalam perankingan AHP untuk penentuan lokasi SPLU di Kota Ambon. Penilaian ini didasarkan pada lima kriteria utama: Aksesibilitas & Visibilitas, Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas, Proximitas dengan Fasilitas Lain, Dukungan Infrastruktur Listrik, dan Potensi Pasar. GOR Sport Hall Karang Panjang menawarkan aksesibilitas yang baik sebagai fasilitas olahraga yang penting di Ambon, sering digunakan untuk event olahraga dan sosial besar. Namun, dalam konteks visibilitas sehari-hari sebagai SPLU, lokasi ini kurang menguntungkan dibandingkan dengan lokasi seperti Jalan Yos Sudarso atau Jalan Jenderal Sudirman yang memiliki lalu lintas pejalan kaki dan kendaraan yang lebih tinggi secara konsisten. GOR mungkin hanya ramai saat ada event, yang membatasi eksposur harian SPLU. Lokasi ini tidak sepadat jalan-jalan utama atau pusat komersial, sehingga frekuensi interaksi harian dengan SPLU bisa jauh lebih rendah.

Kepadatan penduduk dan lalu lintas yang lebih rendah berarti potensi penggunaan SPLU tidak seoptimal di lokasi yang lebih sibuk, mengurangi efektivitas SPLU dalam jangka panjang. Meskipun dekat dengan beberapa fasilitas komunal dan pendidikan, GOR Sport Hall Karang Panjang tidak memiliki keuntungan lokasi dekat dengan pusat perbelanjaan, restoran, atau fasilitas hiburan yang bisa meningkatkan penggunaan SPLU secara spontan dan reguler. Alternatif seperti Jalan Pantai Mardika dan Lapangan Mardika – Statue of Pattimura lebih menguntungkan dalam hal ini karena menawarkan kegiatan pariwisata dan rekreasi yang dapat menarik pengguna SPLU lebih sering. Meskipun sebagai fasilitas olahraga besar mungkin sudah memiliki infrastruktur listrik yang memadai, penyesuaian untuk SPLU mungkin memerlukan investasi tambahan yang lebih besar dibandingkan dengan lokasi yang sudah memiliki infrastruktur yang lebih disesuaikan dengan kebutuhan SPLU, seperti di kawasan bisnis atau komersial.

GOR Sport Hall mungkin menarik penggunaan SPLU saat event besar, tetapi pada hari-hari biasa, potensi pasar untuk SPLU bisa jadi sangat terbatas. Hal ini berbeda dengan lokasi seperti Taman Pantai Air Salobar atau Jalan Jenderal Sudirman, yang memiliki aliran pengunjung reguler dan beragam yang meningkatkan potensi pasar SPLU secara signifikan. Secara keseluruhan, sementara GOR Sport Hall Karang Panjang memiliki kelebihan sebagai lokasi untuk event besar, kurangnya kepadatan dan frekuensi penggunaan sehari-hari, serta keterbatasan dalam visibilitas dan aksesibilitas sehari-hari, membuatnya menjadi pilihan yang kurang optimal dibandingkan dengan alternatif lain yang menawarkan interaksi lebih tinggi dan lebih konsisten dengan masyarakat luas. Kekurangan ini menjadikan GOR sebagai pilihan yang kurang menarik dalam konteks SPLU, meskipun potensi untuk event tertentu masih bisa dianggap.

Analisis Penilaian dan Pemilihan Titik SPLU berbasis Machine Learning

Penggunaan sistem pendukung keputusan berbasis Machine Learning dalam menentukan lokasi SPLU di Kota Ambon telah membuahkan hasil signifikan dan berkontribusi pada peningkatan pendapatan PT PLN (Persero) UP3 Ambon melalui pembangunan SPLU di lokasi-lokasi strategis yang dipilih berdasarkan analisis data komprehensif.

Tabel 6. Pendapatan dari ketiga lokasi SPLU di Ambon

No.	Lokasi SPLU	Koordinat GPS	Penghasilan (Rp)
1	Jalan Yos Sudarso	128.1774627, -3.6948806	60.860.000
2	Jalan Pantai Mardika	128.1802645, -3.691205	49.440.000
3	Jalan Jenderal Sudirman	128.1988357, -3.6697457	12.930.000

Sumber: PT PLN (Persero) UP3 Ambon

Berdasarkan hasil analisis perankingan dari sistem pendukung keputusan berbasis machine learning, PT PLN (Persero) UP3 Ambon telah mengimplementasikan Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) di beberapa lokasi strategis

di Kota Ambon. Penggunaan sistem pendukung keputusan berbasis Machine Learning dalam penentuan lokasi SPLU ini telah berdampak signifikan pada peningkatan pendapatan perusahaan, sekaligus memberikan kontribusi penting terhadap pengurangan emisi karbon di kota. Kinerja ekonomi dari tiga lokasi SPLU yang telah dipilih—Jalan Yos Sudarso, Jalan Pantai Mardika, dan Jalan Jenderal Sudirman—menunjukkan hasil yang beragam, mencerminkan efektivitas strategi lokasi yang dipilih. Jalan Yos Sudarso, yang terletak di area komersial yang sangat ramai, menghasilkan pendapatan tertinggi dengan total Rp 60.860.000. Keberhasilan lokasi ini menggambarkan sinergi antara aksesibilitas yang tinggi dan volume lalu lintas pejalan kaki serta kendaraan yang besar, menjadikannya lokasi yang ideal untuk SPLU. Faktor-faktor ini menunjukkan bahwa penempatan SPLU di area dengan aktivitas ekonomi yang tinggi sangat efektif dalam menarik pengguna kendaraan listrik.

Lokasi ini terletak di area komersial yang ramai, membuatnya menjadi tempat ideal bagi pengguna kendaraan listrik untuk mengisi daya. Keberhasilan lokasi ini tidak hanya menunjukkan potensi pasar yang tinggi, tetapi juga efektivitas SPLU dalam memenuhi kebutuhan pengisian kendaraan listrik di lokasi yang paling strategis. Sementara itu, Jalan Pantai Mardika, berhasil mengumpulkan Rp 49.440.000 dan menduduki posisi kedua dalam hal pendapatan. Meskipun tidak sebesar Jalan Yos Sudarso, penghasilan yang dihasilkan dari lokasi ini masih menunjukkan keberhasilan SPLU dalam mengintegrasikan kebutuhan energi dengan bisnis kaki lima UMKM. Di sisi lain, Jalan Jenderal Sudirman, meskipun merupakan pusat bisnis dan pemerintahan, mencatatkan pendapatan Rp 12.930.000, lebih rendah dibandingkan dua lokasi lainnya. Hal ini mungkin dikaitkan dengan kepadatan lalu lintas yang ekstrem dan persaingan dengan berbagai fasilitas yang sudah ada, yang bisa jadi mengurangi frekuensi penggunaan SPLU oleh masyarakat. Meski begitu, keberadaan SPLU di lokasi ini tetap penting sebagai bagian dari upaya keseluruhan kota.

Keseluruhan data dari tiga lokasi SPLU ini memberikan wawasan penting tentang dinamika pasar dan preferensi pengguna di Ambon. Analisis ini tidak hanya menunjukkan tempat-tempat yang paling menguntungkan untuk penempatan SPLU berikutnya tetapi juga memberikan pelajaran berharga tentang faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan ekonomi dari infrastruktur pengisian kendaraan listrik. Dengan mengembangkan lebih lanjut SPLU di lokasi yang strategis, PT PLN (Persero) UP3 Ambon berada pada posisi yang baik untuk memaksimalkan pengaruhnya terhadap pengurangan emisi karbon sambil meningkatkan pendapatan dan mendukung transisi energi berkelanjutan di kota.

V. SIMPULAN

Dalam penelitian ini, telah dijelaskan secara mendalam bagaimana sistem pendukung keputusan berbasis Machine Learning dapat digunakan untuk menentukan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) di Kota Ambon. Dengan fokus pada pengintegrasian teknologi kecerdasan buatan dalam pengambilan keputusan infrastruktur, penelitian ini telah mengungkapkan bagaimana alat-alat canggih dapat memaksimalkan efektivitas dan efisiensi dalam pemilihan lokasi yang tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan tetapi juga meningkatkan potensi ekonomi. Penelitian ini berhasil menggali proses penentuan lokasi Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) menggunakan sistem pendukung keputusan berbasis Machine Learning di Kota Ambon. Dari penggunaan teknologi ini, beberapa simpulan utama dapat diambil dan menambahkan wawasan mengenai dampak ekonomi langsung dari implementasi SPLU.

Penerapan Machine Learning dalam pemilihan lokasi SPLU membuktikan bahwa teknologi ini dapat memberikan rekomendasi yang berbasis pada data objektif dan analisis mendalam. Kriteria seperti Aksesibilitas & Visibilitas, Kepadatan Penduduk & Lalu Lintas, Proximitas dengan Fasilitas Lain, Dukungan Infrastruktur Listrik, dan Potensi Pasar telah diolah secara efektif untuk menghasilkan pilihan lokasi yang optimal. Lokasi-lokasi yang terpilih, seperti Jalan Yos Sudorso, Jalan Pantai Mardika, dan Jalan Jenderal Sudirman, menunjukkan kinerja pendapatan yang beragam, memberikan validasi terhadap keakuratan model Machine Learning yang digunakan. Jalan Yos Sudorso, sebagai lokasi dengan pendapatan tertinggi, menunjukkan keberhasilan dalam pemilihan lokasi yang sangat strategis berkat analisis data yang mendalam. Berdasarkan data yang diperoleh, SPLU yang dibangun di Jalan Yos Sudorso menghasilkan pendapatan tertinggi sebesar Rp 60.860.000, diikuti oleh Jalan Pantai Mardika dengan Rp 49.440.000, dan Jalan Jenderal Sudirman dengan Rp 12.930.000. Kinerja ini menegaskan bahwa pemilihan lokasi yang strategis berpengaruh signifikan terhadap pendapatan, dimana Jalan Yos Sudorso dengan aksesibilitas dan visibilitas yang tinggi menjadi yang paling menguntungkan.

Kesimpulan ini menegaskan pentingnya integrasi teknologi canggih seperti Machine Learning dalam perencanaan infrastruktur kota yang modern, serta menunjukkan potensi ekonomi yang dapat dihasilkan dari pengelolaan dan penempatan SPLU yang tepat. Pengembangan SPLU berbasis analisis data yang mendalam dapat memaksimalkan efektivitas dan efisiensi infrastruktur kelistrikan. Data pendapatan memberikan bukti nyata bahwa SPLU dapat menjadi sumber pendapatan yang viable bagi PT PLN (Persero) UP3 Ambon. Oleh karena itu, disarankan untuk terus mengembangkan SPLU di lokasi yang tidak hanya strategis tetapi juga memperhitungkan peningkatan pendapatan, adaptasi dengan perkembangan teknologi, dan kebutuhan pasar yang dinamis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Berikut adalah hasil penelitian yang telah disampaikan oleh peneliti. Terima kasih kepada para pembaca yang telah mengikuti penelitian ini. Peneliti sangat mengharapkan masukan dan kritik yang konstruktif untuk memperbaiki kualitas karya ilmiah di masa yang akan datang. Penghargaan juga ditujukan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penyusunan karya ilmiah ini.

Referensi

- [1] A. R. Hakim, “Analisis Penentuan Lokasi SPKLU Dalam Mendukung Kebijakan Kendaraan Listrik Bertenaga Baterai Di Wilayah Jawa Timur,” *Energy J. Ilm. Ilmu-Ilmu Tek.*, vol. 13, no. 2, pp. 109–116, Dec. 2023, doi: 10.51747/energy.v13i2.1633.
- [2] N. Amilia, Z. Palinrungi, I. Vanany, and M. Arief, “Designing an Optimized Electric Vehicle Charging Station Infrastructure for Urban Area: A Case study from Indonesia,” in *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, IEEE, Oct. 2022, pp. 2812–2817. doi: 10.1109/ITSC55140.2022.9922278.
- [3] H. Prabowo, S. Herjuna, and R. Palebangan, *Manyala App: Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Lokasi SPKLU dengan Hassle-Free Machine Learning*. 2023.
- [4] D. D. Priyantoro and A. Kurniawan, “Apa Perbedaan SPLU dengan SPKLU buat Kendaraan Listrik?,” *KOMPAS.com*, 2019. <https://otomotif.kompas.com/read/2019/09/11/082200715/apa-perbedaan-splu-dengan-spkl-buat-kendaraan-listrik->
- [5] M. Berliandaldo and A. Prasetyo, “Analisa dan Tinjauan Hukum atas Kebijakan Pengembangan dan Pemanfaatan Kendaraan Bermotor Listrik pada Sektor Pariwisata Indonesia,” *Sanskara Huk. dan HAM*, vol. 1, no. 02, pp. 01–12, Dec. 2022, doi: 10.58812/shh.v1i02.55.
- [6] Z. F. Rahman, *Transisi Energi: Hambatan Adopsi Dan Nilai Simbolik Kendaraan Listrik*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah, 2023.
- [7] H. Yatriendi, A. M. N. Putra, and F. A. Muchtari, “Overview: Perkembangan Teknologi Pengisian Cepat Pada Kendaraan Listrik (Teknologi dan Infrastruktur),” *Semin. Nas. Ris. Inov. Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 128–137, 2022.
- [8] H. M. K. Sari, Sriyono, and N. K. S. N, “Strategi Menarik Kaum Milenial Untuk Investasi Di Sektor Keuangan : Langkah Apa Yang Harus Dilakukan?,” *J. Nusamba*, vol. 6, no. 1, 2021, doi: <https://doi.org/10.29407/nusamba.v6i1.14365>.
- [9] H. Margono, *Pemasaran Strategik: Membangun Strategi Pemasaran di Era Digital*. Jakarta Selatan: PT. Insan Sempurna Mandiri, 2022.
- [10] Muttaqin *et al.*, *Implementasi Artificial Intelligence (AI) dalam Kehidupan*. Langsa: Yayasan Kita Menulis, 2023.
- [11] J. Zhang, K. Cai, and J. Wen, “A survey of deep learning applications in cryptocurrency,” *iScience*, vol. 27, no. 1, p. 108509, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.isci.2023.108509.
- [12] S. Srinivasan, S. Kumarasamy, Z. E. Andreadakis, and P. G. Lind, “Artificial Intelligence and Mathematical Models of Power Grids Driven by Renewable Energy Sources: A Survey,” *Energies*, vol. 16, no. 14, p. 5383, Jul. 2023, doi: 10.3390/en16145383.
- [13] N. Nigam, D. P. Singh, and J. Choudhary, “A Review of Different Components of the Intelligent Traffic Management System (ITMS),” *Symmetry (Basel)*, vol. 15, no. 3, p. 583, Feb. 2023, doi: 10.3390/sym15030583.
- [14] H.-S. Jo, C. Park, E. Lee, H. K. Choi, and J. Park, “Path Loss Prediction Based on Machine Learning Techniques: Principal Component Analysis, Artificial Neural Network, and Gaussian Process,” *Sensors*, vol. 20, no. 7, p. 1927, Mar. 2020, doi: 10.3390/s20071927.
- [15] M. A. Ravindran *et al.*, “A Novel Technological Review on Fast Charging Infrastructure for Electrical Vehicles: Challenges, Solutions, and Future Research Directions,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 82, pp. 260–290, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.aej.2023.10.009.
- [16] I. Z. Priscillia Z and D. K. Habibie, “Peran Perusahaan Listrik Negara Sebagai Penyedia Fasilitas Dalam Rangka Penggunaan Kendaraan Bermotor Berbasis Listrik di Kota Pekanbaru,” *MOTEKAR J. Multidisiplin Teknol. dan Arsit.*, vol. 1, no. 2, pp. 192–200, Nov. 2023, doi: 10.57235/motekar.v1i2.995.
- [17] A. Amin, “Monitoring Kamera CCTV Melalui Pc Dan Smartphone,” *EEICT (Electric, Electron. Instrumentation, Control. Telecommun.)*, vol. 1, no. 2, 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.31602/eeict.v1i2.1881>.
- [18] A. Roihan, P. A. Sunarya, and A. S. Rafika, “Pemanfaatan Machine Learning dalam Berbagai Bidang: Review paper,” *IJCIT (Indonesian J. Comput. Inf. Technol.)*, vol. 5, no. 1, May 2020, doi: 10.31294/ijcit.v5i1.7951.
- [19] S. Situmorang and Yahfizham, “Analisis Kinerja Algoritma Machine Learning Dalam Deteksi Anomali Jaringan,” *Konstanta J. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 1, no. 4, 2023, doi: <https://doi.org/10.59581/konstanta.v1i4.1722>.
- [20] A. Volkamer *et al.*, “Machine learning for small molecule drug discovery in academia and industry,” *Artif. Intell. Life Sci.*, vol. 3, p. 100056, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.aillsci.2022.100056.
- [21] Darpi and S. Nurhayati, “Sistem Pendukung Keputusan Pendeteksi Kerusakan Komputer Pada Universitas Al-Khairiyah,” *J-Tekin J. Tek. Inform.*, vol. 1, no. 1, 2022.
- [22] Jadianan Parhusip, “Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Pada Desain Sistem Pendukung

- Keputusan Pemilihan Calon Penerima Bantuan Pangan Non Tunai (BPNT) Di Kota Palangka Raya,” *J. Teknol. Inf. J. Keilmuan dan Apl. Bid. Tek. Inform.*, vol. 13, no. 2, pp. 18–29, Oct. 2019, doi: 10.47111/jti.v13i2.251.
- [23] N. Aisyah and A. S. Putra, “Sistem Pendukung Keputusan Rekomendasi Pemilihan Manajer Terbaik Menggunakan Metode AHP (Analytic Hierarchy Process),” *J. Esensi Infokom J. Esensi Sist. Inf. dan Sist. Komput.*, vol. 5, no. 2, pp. 7–13, Feb. 2022, doi: 10.55886/infokom.v5i2.275.
- [24] E. Wahyuningsih, *Sistem Pendukung Keputusan Penilaian Kinerja Karyawan Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Yogyakarta: STMIK Akakom Yogyakarta, 2016.
- [25] A. Kurniawan, I. F. Astuti, and D. Cahyadi, “Pemilihan Pemasok Suplemen Fitnes Dengan Metode AHP (Analytic Hierarchy Process) (Studi Kasus : Toko Suplemen Malik Fitnes),” *Inform. Mulawarman J. Ilm. Ilmu Komput.*, vol. 15, no. 1, 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.30872/jim.v15i1.3311>.
- [26] A. Prasetya and R. M. Manikam, “Sistem Pedukung Keputusan Penilaian Kinerja Karyawan, Menggunakan Metode Analitical Hierarchy Process (AHP) (Studi Kasus : Pizza Hut Puri Indah Mall),” *Semin. Nas. Pengaplikasian Telemat.*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [27] S. Saliman, “Mengenal DEcision Support System (DSS),” *Efisiensi - Kaji. Ilmu Adm.*, vol. 10, no. 1, Mar. 2015, doi: 10.21831/efisiensi.v10i1.3971.
- [28] V. Silaa, F. Masui, and M. Ptaszynski, “A Method of Supplementing Reviews to Less-Known Tourist Spots Using Geotagged Tweets,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 5, p. 2321, Feb. 2022, doi: 10.3390/app12052321.
- [29] A. M. Sugieanto, *Penentuan Lokasi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum Yang Optimum Dengan Menggunakan Analisis Spasial*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2022. doi: 10.13140/RG.2.2.34019.78888.
- [30] R. Baskara, *Implementasi Web Scraping Pada Media Sosial Instagram*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia, 2022.
- [31] A. C. Febryanti, I. Darmawan, and R. Andreswari, “Pembobotan Kriteria Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Bidang Peminatan Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process Studi Kasus: Program Studi Sistem Informasi Universitas Telkom,” *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 3, no. 04, p. 7, Oct. 2016, doi: 10.25124/jrsi.v3i04.272.

How to cite: akhmad masjhur, Sigit Hermawan (2024) Pengaruh harga, kualitas produk, digital marketing, terhadap minat beli ulang detergent 'so soft (ramah lingkungan) dengan loyalitas pelanggan sebagai variabel intervening. *ijresmar*.2020.08.001 doi:10.1016