

Sistem Informasi Geografis (SIG) Penentuan Lokasi Strategis SPKLU di Kota Semarang Menggunakan Metode SMCA-AHP

¹Mahmudi Husain Hasbullah *, ²Ghufron, ³Andi Riansyah,

^{1,2,3} Teknik Informatika, Universitas Islam Sultan Agung

*Corresponding Author:

husainhasbullah@gmail.com

Abstrak

Adopsi kendaraan listrik (EV) yang pesat di Indonesia saat ini membutuhkan perencanaan infrastruktur pengisian daya yang strategis dan efisien. Sebagai pusat ekonomi utama Jawa Tengah, Semarang membutuhkan pemilihan lokasi yang tepat untuk SPBU (Stasiun Pengisian Daya Kendaraan Listrik Umum) guna mendukung terciptanya ekosistem kota cerdas yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem pendukung keputusan spasial berbasis web yang komprehensif menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan metode Analisis Multikriteria Spasial - Proses Hierarki Analitik (SMCA-AHP). Sistem ini dikembangkan secara independen menggunakan bahasa pemrograman PHP, basis data MySQL, dan pustaka Leaflet.js untuk menyediakan visualisasi pemetaan interaktif. Kriteria utama yang digunakan dalam analisis meliputi aksesibilitas jalan, kedekatan dengan tempat-tempat menarik (POI) publik, ketersediaan jaringan listrik dari gardu induk terdekat, dan kepadatan ekonomi regional. Hasil penelitian ini adalah aplikasi fungsional yang mampu secara otomatis menghasilkan peta kesesuaian lokasi terperinci dengan klasifikasi kelayakan. Analisis pembobotan menunjukkan bahwa aksesibilitas memiliki pengaruh paling dominan pada pemilihan lokasi akhir. Sistem ini telah diuji secara teknis dan siap digunakan oleh para pembuat kebijakan sebagai alat pengambilan keputusan yang akurat untuk meminimalkan kesalahan perencanaan infrastruktur energi di wilayah Kota Semarang.

Kata kunci: GIS, SPKLU, AHP, PHP, Semarang, Analisis Spasial.

Abstract

The rapid adoption of electric vehicles (EV) in Indonesia currently necessitates strategic and efficient planning for charging infrastructure. As the primary economic hub of Central Java, Semarang requires precise site selection for Public Electric Vehicle Charging Stations (SPKLU) to support the creation of a sustainable smart city ecosystem. This research aims to implement a comprehensive web-based spatial decision support system using Geographic Information Systems (GIS) and the Spatial Multi-Criteria Analysis - Analytical Hierarchy Process (SMCA-AHP) method. The system was developed independently using the PHP programming language, MySQL database, and the Leaflet.js library to provide interactive mapping visualizations. The main criteria utilized in the analysis include road accessibility, proximity to public points of interest (POI), power grid availability from the nearest substations, and regional economic density. The result of this study is a functional application capable of automatically generating detailed location suitability maps with feasibility classifications. Weighting analysis reveals that accessibility has the most dominant influence on final site selection. The system has been technically tested and is ready for use by policymakers as an

accurate decision-making tool to minimize energy infrastructure planning errors in the Semarang City area.

Keyword: GIS, SPKLU, AHP, PHP, Semarang, Spatial Analysis.

1. PENDAHULUAN

Adopsi kendaraan listrik (*Electric Vehicle* atau EV) secara global telah mengalami peningkatan signifikan sebagai langkah strategis untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan ketergantungan pada bahan bakar fosil [1]. Di Indonesia, pemerintah telah menetapkan target percepatan ekosistem kendaraan listrik melalui berbagai regulasi guna menciptakan transportasi berkelanjutan yang ramah lingkungan [2]. Namun, pertumbuhan jumlah kendaraan listrik yang cepat di lapangan sering kali tidak dibarengi dengan ketersediaan infrastruktur pengisian daya yang memadai. Pertumbuhan infrastruktur yang lambat serta perencanaan lokasi yang tidak strategis menjadi hambatan utama dalam proses transisi energi nasional saat ini [3].

Pemilihan lokasi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) merupakan masalah pengambilan keputusan multi-kriteria yang sangat kompleks. Penentuan lokasi yang dilakukan tanpa landasan ilmiah yang kuat berisiko menyebabkan ketidakefisienan operasional, rendahnya tingkat keterjangkauan oleh pengguna, hingga beban berlebih pada jaringan listrik di area tersebut [4], [5]. Faktor-faktor krusial seperti aksesibilitas jalan utama, kedekatan dengan pusat kegiatan publik, dan ketahanan infrastruktur jaringan listrik menjadi variabel utama yang harus dipertimbangkan secara simultan dalam perencanaan tata ruang kota pintar (*smart city*) [6], [7].

Kota Semarang, sebagai pusat ekonomi dan administratif utama di Jawa Tengah, memiliki karakteristik mobilitas yang sangat padat dan terus berkembang. Meskipun penelitian sebelumnya telah mengevaluasi penentuan lokasi pengisian ulang untuk kebutuhan distribusi logistik *last-mile* di wilayah Semarang [8], namun pengembangan sistem yang berfokus pada kebutuhan SPKLU publik secara luas dan terintegrasi dengan teknologi informasi masih sangat terbatas. Penelitian di kota metropolitan lain seperti DKI Jakarta dan Denpasar telah mulai menerapkan integrasi sistem informasi geografis untuk perencanaan infrastruktur, namun perbedaan karakteristik tata ruang, kepadatan penduduk, dan rencana detail tata ruang lokal di Semarang memerlukan pendekatan analisis yang spesifik dan berbeda [2], [9].

Sistem Informasi Geografis (SIG) berbasis web menawarkan solusi andal untuk mengolah dan memvisualisasikan data spasial secara dinamis bagi para pengambil keputusan [10], [11]. Integrasi metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) ke dalam sebuah sistem informasi memungkinkan proses pembobotan berbagai kriteria dilakukan secara objektif berdasarkan data lapangan dan parameter teknis yang akurat [1], [12]. Meskipun teknologi analisis spasial sudah banyak berkembang secara teoritis, implementasi nyata dalam bentuk sistem informasi yang siap pakai (*ready-to-use*) dengan *tech stack* yang mendukung visualisasi interaktif bagi pemangku kepentingan masih menjadi celah penelitian yang sangat penting untuk diisi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sebuah sistem pendukung keputusan spasial berbasis web yang fungsional menggunakan bahasa pemrograman PHP

dan basis data MySQL. Sistem ini dirancang secara khusus untuk membantu proses penentuan lokasi strategis SPKLU di wilayah Kota Semarang dengan menerapkan metode *Spatial Multi-Criteria Analysis - Analytical Hierarchy Process* (SMCA-AHP). Kontribusi utama dari penelitian ini adalah penyediaan alat bantu keputusan digital yang mengintegrasikan parameter kriteria dari dua belas literatur terkini ke dalam sebuah arsitektur perangkat lunak yang utuh. Melalui visualisasi peta interaktif menggunakan pustaka JavaScript Leaflet.js, sistem yang dibangun telah berhasil memproses data spasial Kota Semarang untuk meminimalisir kesalahan perencanaan infrastruktur dan mempercepat penyediaan fasilitas pengisian daya yang tepat sasaran bagi masyarakat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem berbasis komputer yang dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, memanipulasi, menganalisis, serta menampilkan data yang bereferensi geografis atau spasial. Dalam konteks perencanaan wilayah, SIG berperan krusial dalam memeriksa dan menganalisis informasi permukaan bumi guna membantu proses pengambilan keputusan yang berkaitan dengan lokasi [10]. SIG memiliki kemampuan unik untuk mengintegrasikan berbagai lapisan data (*layer*) yang berbeda, seperti jaringan jalan, penggunaan lahan, dan titik fasilitas umum, ke dalam satu basis data spasial yang terpadu [11].

Dalam penentuan lokasi infrastruktur seperti SPKLU, SIG tidak hanya berfungsi sebagai alat pemetaan statis, tetapi juga sebagai mesin analisis (*analysis engine*) melalui metode *Spatial Multi-Criteria Analysis* (SMCA). Teknik analisis spasial yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *buffering* untuk menentukan radius pelayanan dan *overlay* untuk menggabungkan berbagai parameter kriteria [3]. Melalui integrasi data spasial yang akurat, SIG mampu memberikan visualisasi zona kelayakan secara dinamis yang sangat membantu para pemangku kebijakan dalam mengidentifikasi area potensial di wilayah perkotaan [4].

B. Analytical Hierarchy Process (AHP)

Analytical Hierarchy Process (AHP) adalah sebuah metode fungsional yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty untuk memecahkan masalah pengambilan keputusan multi-kriteria yang kompleks dengan menyusunnya ke dalam suatu hierarki [1]. Metode ini memungkinkan pengambil keputusan untuk memberikan bobot prioritas pada variabel-variabel yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Dalam penentuan lokasi SPKLU, AHP berperan krusial dalam menyederhanakan berbagai parameter yang saling bertentangan menjadi struktur hierarki yang logis, mulai dari tujuan utama, kriteria, hingga alternatif lokasi yang tersedia [9].

Kekuatan utama dari metode AHP terletak pada kemampuannya untuk mengukur konsistensi logis dari penilaian yang diberikan oleh pengambil keputusan. Melalui perhitungan *Consistency Ratio* (CR), sistem dapat memvalidasi apakah pembobotan kriteria yang dilakukan telah konsisten atau memerlukan perbaikan [2]. Dalam riset

modern, metode ini sering dikembangkan menjadi *Fuzzy AHP* untuk menangani ketidakpastian atau ambiguitas dalam preferensi manusia [6]. Integrasi AHP ke dalam kerangka kerja SIG menghasilkan model *Spatial Multi-Criteria Analysis* (SMCA) yang sangat efektif untuk menghasilkan peta kesesuaian lokasi yang objektif dan terukur secara matematis [7], [12].

C. Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU)

Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) merupakan komponen infrastruktur fundamental dalam ekosistem kendaraan bermotor listrik berbasis baterai yang berfungsi sebagai penyedia daya listrik untuk pengisian ulang baterai kendaraan [2]. Di Indonesia, percepatan pembangunan SPKLU telah menjadi prioritas nasional guna mendukung transisi energi dari bahan bakar fosil menuju energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan. Keberadaan SPKLU yang tersebar secara strategis di area perkotaan sangat menentukan tingkat kenyamanan pengguna dan efisiensi mobilitas masyarakat [9]. Penentuan lokasi SPKLU harus mempertimbangkan berbagai aspek teknis dan operasional agar dapat beroperasi secara optimal. Beberapa variabel kunci meliputi ketersediaan daya listrik dari jaringan distribusi, kemudahan aksesibilitas bagi berbagai jenis kendaraan,

serta keamanan area parkir [12]. Masalah utama yang sering muncul adalah kurangnya perencanaan ilmiah yang mempertimbangkan faktor sosial dan lingkungan, sehingga distribusi SPKLU menjadi tidak merata [1]. Khusus di wilayah perkotaan seperti Semarang, kebutuhan infrastruktur ini tidak hanya terbatas pada sektor logistik *last-mile*, tetapi juga harus mencakup kebutuhan pengisian daya publik guna mendorong adopsi kendaraan listrik secara masif [8].

D. Teknologi Pengembangan Sistem (Web-based Tech Stack)

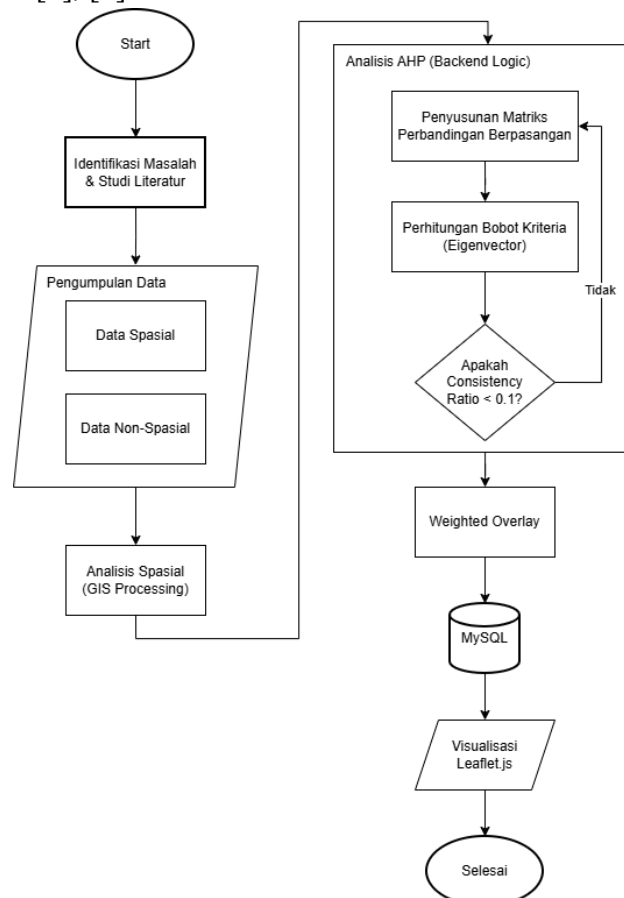
Pengembangan sistem pendukung keputusan berbasis spasial saat ini cenderung beralih ke platform berbasis web untuk meningkatkan aksesibilitas dan kemudahan distribusi informasi kepada pemangku kepentingan. Bahasa pemrograman PHP (*Hypertext Preprocessor*) digunakan sebagai mesin utama di sisi server (*server-side*) untuk mengimplementasikan algoritma matematis AHP dan mengelola logika bisnis sistem secara dinamis [12]. PHP terintegrasi secara efisien dengan MySQL sebagai sistem manajemen basis data (*Database Management System*) yang berfungsi menyimpan data koordinat lokasi SPKLU, atribut kriteria, serta hasil pembobotan nilai [10].

Untuk menyajikan informasi geografis secara interaktif, penggunaan pustaka JavaScript seperti Leaflet.js menjadi sangat krusial. Leaflet.js merupakan pustaka sumber terbuka yang ringan namun kuat untuk merender peta digital, menangani lapisan data (*layer*), dan memvisualisasikan hasil analisis spasial dalam bentuk *marker* maupun *heatmap* [11]. Integrasi antara PHP di sisi *backend* dan Leaflet.js di sisi *frontend* memungkinkan sistem untuk memproses data kriteria yang kompleks dan menampilkannya menjadi rekomendasi lokasi yang mudah dipahami oleh pengguna secara *real-time* [4], [5].

3. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis yang mengintegrasikan analisis spasial dengan metode pengambilan keputusan multi-kriteria untuk memastikan hasil penentuan lokasi SPKLU memiliki akurasi yang tinggi. Alur penelitian secara menyeluruh digambarkan pada Gambar 1. Tahapan diawali dengan identifikasi variabel dan pengumpulan data primer serta sekunder yang relevan dengan kondisi geografis Kota Semarang. Data yang dikumpulkan meliputi peta jaringan jalan arteri, koordinat fasilitas umum atau *Points of Interest* (POI), sebaran infrastruktur kelistrikan, serta data rencana detail tata ruang kota [3], [9].



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Setelah data terkumpul, tahapan selanjutnya adalah analisis menggunakan kerangka kerja *Spatial Multi-Criteria Analysis* (SMCA) yang diintegrasikan dengan pembobotan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Pada fase ini, dilakukan proses pra-pemrosesan data spasial seperti *buffering* untuk menentukan radius jangkauan pelayanan dan pemberian skor (*scoring*) pada setiap parameter berdasarkan tingkat kelayakannya [1], [10]. Matriks perbandingan berpasangan kemudian disusun untuk menghasilkan bobot prioritas bagi setiap kriteria, yang divalidasi melalui perhitungan *consistency ratio* guna menjamin objektivitas hasil analisis [2].

Tahap akhir dari penelitian ini adalah pengembangan dan implementasi sistem informasi geografis berbasis web. Arsitektur perangkat lunak dibangun menggunakan bahasa pemrograman PHP untuk menangani logika perhitungan AHP di sisi server, sementara basis data MySQL digunakan untuk mengelola integrasi data spasial dan atribut kriteria [12]. Hasil akhir berupa visualisasi peta interaktif dikembangkan menggunakan pustaka Leaflet.js yang merender zona kelayakan secara otomatis. Seluruh rangkaian tahapan ini ditutup dengan pengujian fungsionalitas sistem untuk memastikan bahwa aplikasi dapat memberikan rekomendasi lokasi yang valid dan siap digunakan [11].

B. Kriteria dan Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi data spasial dan data non-spasial yang dikumpulkan melalui observasi lapangan serta dokumen resmi dari instansi terkait di Kota Semarang. Penentuan kriteria didasarkan pada sintesis literatur global dan lokal yang disesuaikan dengan karakteristik tata ruang wilayah studi. Kriteria pertama adalah aksesibilitas jalan (K1), yang diukur berdasarkan jarak lokasi terhadap jaringan jalan arteri dan kolektor guna memastikan kemudahan jangkauan bagi pengguna kendaraan listrik dari jalur transportasi utama [1], [9]. Data jaringan jalan ini diperoleh melalui peta digital Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) Kota Semarang.

Kriteria kedua adalah kedekatan dengan pusat kegiatan publik atau *Points of Interest* (K2), yang mencakup area komersial, pusat perbelanjaan, dan perkantoran. Pemilihan kriteria ini didasarkan pada perilaku pengguna yang cenderung melakukan pengisian daya saat beraktivitas di lokasi tujuan [2]. Kriteria ketiga adalah aspek teknis ketenagalistrikan (K3), yaitu jarak terhadap infrastruktur jaringan listrik atau gardu distribusi terdekat. Pertimbangan ini krusial untuk meminimalisir biaya instalasi kabel serta menjamin stabilitas pasokan daya pada unit SPKLU [7], [10]. Kriteria terakhir adalah kepadatan aktivitas wilayah (K4) untuk memetakan potensi permintaan pengisian daya di masa depan [3], [5].

Seluruh data spasial tersebut dikonversi ke dalam koordinat geografis (*latitude* dan *longitude*) dan diintegrasikan ke dalam basis data MySQL. Dalam implementasinya, sistem menggunakan fungsi *Euclidean Distance* yang dikodekan pada skrip PHP untuk menghitung jarak antara titik lokasi potensial dengan setiap kriteria secara otomatis [11], [12]. Data yang telah diproses kemudian disimpan dalam tabel kriteria sebagai input utama untuk tahap pembobotan AHP dan analisis *weighted overlay* pada peta interaktif.

C. Analisis Multi-Kriteria Spasial (SMCA-AHP)

Analisis Multi-Kriteria Spasial atau *Spatial Multi-Criteria Analysis* (SMCA) dalam penelitian ini merupakan proses integrasi antara data geografis dengan bobot kepentingan kriteria yang dihasilkan melalui metode AHP. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk melakukan evaluasi terhadap sejumlah alternatif lokasi secara objektif dengan mempertimbangkan berbagai variabel yang memiliki tingkat kepentingan berbeda [1], [4]. Secara teknis, sistem akan memproses setiap kriteria ke dalam lapisan-lapisan

informasi (*layers*) yang kemudian digabungkan melalui proses *weighted overlay* pada algoritma *backend* [12].

Langkah pertama dalam analisis ini adalah pembentukan struktur hierarki yang terdiri dari tujuan utama, kriteria, dan alternatif lokasi di Kota Semarang. Selanjutnya, dilakukan penilaian perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) menggunakan skala 1 hingga 9 untuk menentukan tingkat kepentingan relatif antar kriteria [6]. Hasil dari perbandingan ini diproses oleh skrip PHP untuk menghasilkan *eigenvector* yang merepresentasikan bobot global setiap kriteria. Validitas bobot tersebut dipastikan melalui perhitungan *Consistency Ratio* (CR), di mana nilai CR harus lebih kecil dari 0,1 untuk dinyatakan konsisten dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan [2], [9].

Setelah bobot kriteria diperoleh, sistem melakukan normalisasi data spasial dari setiap lokasi potensial. Data jarak (seperti jarak ke jalan atau jarak ke pusat kegiatan) yang tersimpan di basis data MySQL dikonversi menjadi nilai skor standar menggunakan fungsi skor yang telah ditetapkan di dalam sistem [7], [10]. Tahap akhir dari SMCA-AHP adalah akumulasi nilai total kelayakan untuk setiap titik koordinat, yang kemudian divisualisasikan secara dinamis pada antarmuka peta Leaflet.js melalui gradasi warna atau simbol untuk menunjukkan tingkat prioritas lokasi strategis SPKLU [5], [11].

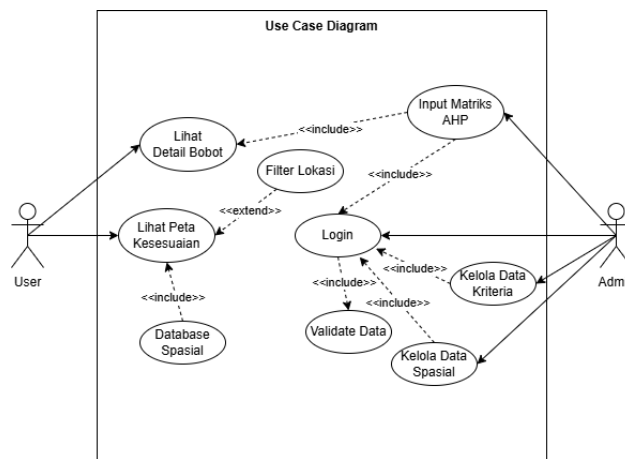
D. Perancangan dan Implementasi Sistem

Perancangan dan implementasi sistem merupakan tahapan krusial dalam menerjemahkan metodologi penelitian ke dalam desain arsitektur perangkat lunak yang konkret [12]. Bagian ini mendeskripsikan secara mendalam mengenai bagaimana sistem diarsitekturkan, mulai dari pemodelan fungsional, aliran data, hingga struktur basis data yang digunakan untuk mendukung proses analisis dan pengambilan keputusan penempatan SPKLU secara strategis [9]. Fokus utama dari perancangan ini adalah memastikan integrasi antara data masukan spasial, algoritma pemrosesan multi-kriteria, dan visualisasi luaran berjalan secara sinkron serta efisien [5], [7].

Melalui pendekatan pemodelan perangkat lunak yang terstruktur, setiap komponen sistem didefinisikan untuk menjamin skalabilitas dan validitas data pendukung keputusan [4]. Tahapan ini mencakup penggunaan diagram fungsional untuk memetakan interaksi aktor, diagram aliran data untuk memantau transformasi informasi di dalam sistem, serta perancangan basis data untuk mengelola penyimpanan data secara relasional sesuai dengan prinsip *Spatial Multi-Criteria Analysis* [2], [6]. Seluruh elemen perancangan ini menjadi fondasi bagi implementasi kode program yang dilakukan untuk menghasilkan visualisasi pemetaan yang dinamis dan interaktif [10], [11].

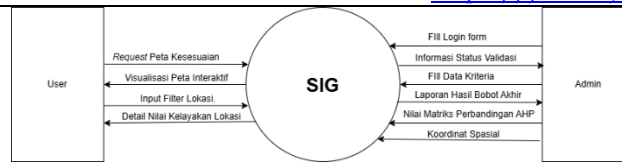
1) *Pemodelan Fungsional (Use Case Diagram)*: Pemodelan fungsional melalui *Use Case Diagram* bertujuan untuk mendefinisikan batas sistem serta interaksi antara aktor dengan fitur-fitur yang tersedia di dalam aplikasi [12]. Dalam sistem pendukung keputusan penentuan lokasi SPKLU ini, terdapat dua aktor utama dengan otoritas yang berbeda, yaitu Admin dan Pengguna (*User*). Pembagian peran ini sangat penting untuk menjaga integritas data kriteria dan memastikan bahwa hasil analisis yang disajikan kepada publik telah melalui proses validasi yang tepat [4]. Admin memiliki peran sebagai

pengelola utama sistem yang bertanggung jawab atas manajemen parameter penilaian. Aktivitas admin mencakup proses autentikasi melalui fitur *Login* yang dilengkapi dengan mekanisme *Validate Data*. Setelah berhasil masuk ke sistem, Admin memiliki otoritas untuk melakukan Kelola Data Kriteria dan Kelola Data Spasial, serta melakukan Input Matriks AHP yang merupakan inti dari perhitungan bobot kepentingan [6]. Di sisi lain, aktor Pengguna memiliki akses untuk melihat luaran sistem melalui fitur Lihat Peta Kesesuaian dan Lihat Detail Bobot. Fitur Filter Lokasi ditambahkan sebagai extend untuk memberikan fleksibilitas kepada pengguna dalam mencari area spesifik di Kota Semarang pada antarmuka peta [11]. Struktur interaksi fungsional sistem secara lengkap disajikan pada Gambar 2.

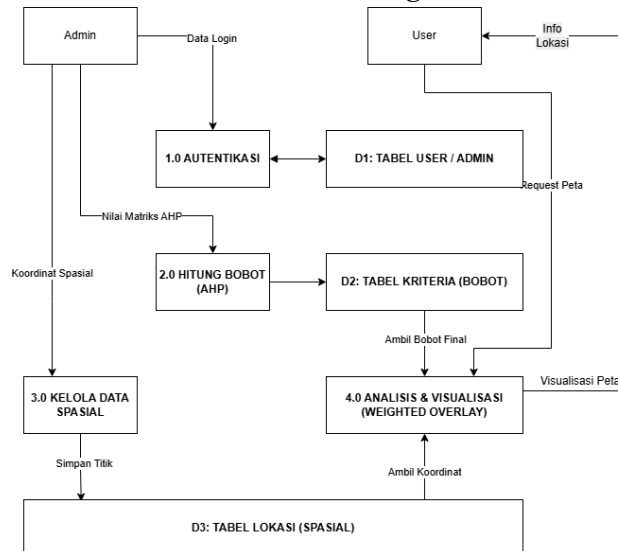


Gambar 2. Use Case Diagram

1) Aliran Data Sistem (Data Flow Diagram): Aliran data dalam sistem pendukung keputusan ini dimodelkan menggunakan *Data Flow Diagram* (DFD) untuk menggambarkan transformasi informasi dari tahap masukan hingga keluaran secara sistematis [5]. Pemodelan ini dibagi menjadi dua tingkat utama, yaitu *Context Diagram* (DFD Level 0) dan DFD Level 1, guna memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai batasan sistem serta mekanisme pemrosesan internal data spasial dan non-spasial [12]. Pada DFD Level 0, terlihat interaksi antara sistem "SIG Penentuan Lokasi SPKLU" dengan entitas luar seperti Admin sebagai penyedia data kriteria dan koordinat, serta Pengguna (User) sebagai penerima informasi rekomendasi lokasi [4], [7]. Selanjutnya, dekomposisi pada DFD Level 1 memperlihatkan empat proses inti yang meliputi autentikasi (1.0) untuk validasi akses, perhitungan bobot AHP (2.0) yang mentransformasi matriks perbandingan menjadi bobot kriteria yang konsisten, pengelolaan data spasial (3.0) untuk menyimpan koordinat infrastruktur jalan dan kelistrikan di Kota Semarang, serta analisis dan visualisasi (4.0) yang mengintegrasikan seluruh parameter menggunakan metode *Weighted Overlay* untuk menghasilkan skor kelayakan lokasi yang objektif [2], [6], [9], [10]. Keseluruhan aliran data teknis ini dirancang untuk memastikan komputasi di sisi *backend* berjalan secara efisien sebelum hasilnya divisualisasikan pada antarmuka peta interaktif menggunakan Leaflet.js [11].

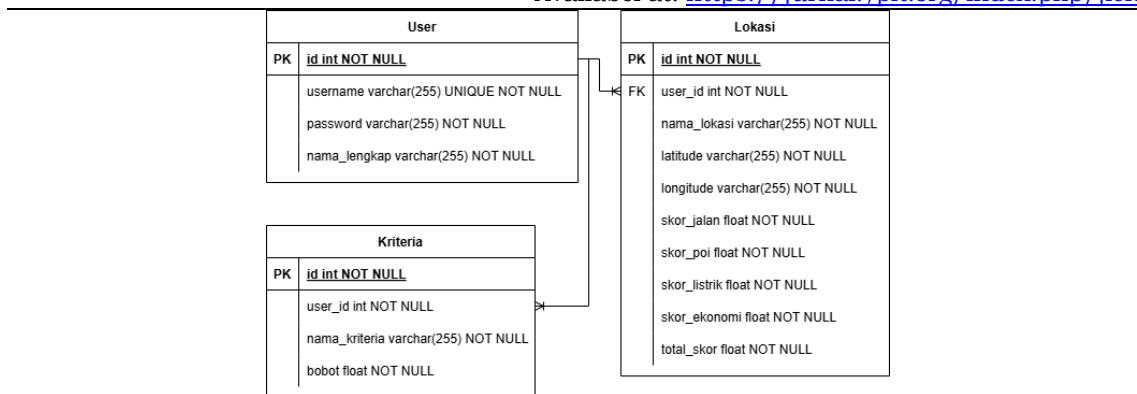


Gambar 3. Data Flow Diagram Level 0



Gambar 4. Data Flow Diagram Level 1

2) *Struktur Basis Data (Entity Relationship Diagram)*: Perancangan struktur penyimpanan data dilakukan menggunakan *Entity Relationship Diagram* (ERD) untuk menjamin integritas referensial dan efisiensi akses informasi dalam basis data relasional MySQL [2]. Arsitektur basis data ini terdiri dari tiga entitas utama yang saling terhubung, yaitu tabel *User* untuk mengelola kredensial admin, tabel *Kriteria* untuk menyimpan parameter penilaian beserta bobot hasil kalkulasi AHP, serta tabel *Lokasi* yang menyimpan data spasial berupa koordinat geografis di wilayah Kota Semarang beserta atribut skor kelayakannya [12]. Hubungan antar entitas direpresentasikan melalui penggunaan *Primary Key* (PK) dan *Foreign Key* (FK), di mana tabel *User* memiliki relasi *one-to-many* terhadap tabel *Kriteria* dan *Lokasi* guna menunjukkan otoritas pengelolaan data oleh administrator [5]. Integrasi data antar tabel ini memungkinkan sistem untuk melakukan penarikan informasi secara dinamis, di mana setiap titik lokasi diproses menggunakan bobot kriteria yang tersimpan untuk menghasilkan nilai total kesesuaian lahan melalui mekanisme *weighted overlay* [6], [9]. Melalui desain basis data yang terstruktur ini, sistem dapat menyajikan luaran informasi geografis yang akurat dan mendukung skalabilitas pengembangan aplikasi pendukung keputusan di masa depan [4], [7].



Gambar 5. Entity Relationship Diagram

Implementasi Perangkat Lunak: Tahap implementasi merupakan perwujudan dari seluruh rancangan desain ke dalam kode program fungsional menggunakan bahasa pemrograman PHP dan basis data MySQL. Logika perhitungan Analytical Hierarchy Process (AHP) ditanamkan pada sisi backend untuk memproses matriks perbandingan berpasangan hingga menghasilkan nilai Consistency Ratio (CR) yang valid. Integrasi data spasial dilakukan dengan memanfaatkan pustaka JavaScript Leaflet.js yang berfungsi sebagai antarmuka pemetaan interaktif untuk wilayah Kota Semarang. Pada tahap ini, seluruh atribut teknis seperti koordinat aksesibilitas jalan, kedekatan dengan fasilitas umum, dan ketersediaan daya listrik digabungkan melalui proses komputasi dinamis untuk menghasilkan representasi visual tingkat kelayakan lokasi SPKLU.

3) Implementasi ini dirancang untuk memberikan kemudahan bagi pengambil keputusan dalam mengeksplorasi zona strategis berdasarkan data yang objektif dan terukur secara geografis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dipaparkan hasil dari implementasi sistem dan analisis data yang telah dilakukan. Pembahasan difokuskan pada hasil pembobotan kriteria menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan visualisasi spasial berbasis *weighted overlay* untuk menentukan lokasi strategis SPKLU di Kota Semarang.

E. Analisis Pembobotan Kriteria AHP

Tahap awal dalam penentuan lokasi strategis SPKLU adalah menentukan bobot prioritas dari setiap kriteria melalui penilaian perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Kriteria yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Aksesibilitas Jalan (K_1), Jarak ke *Points of Interest* (K_2), Infrastruktur Listrik (K_3), dan Kepadatan Ekonomi (K_4). Penilaian dilakukan dengan memberikan skala kepentingan relatif antar kriteria guna mendapatkan nilai *eigenvector* yang merepresentasikan kontribusi masing-masing variabel terhadap keputusan akhir [9], [12].

Berdasarkan hasil pengolahan data pada sistem, diperoleh nilai bobot untuk masing-masing kriteria sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Hasil ini menunjukkan bahwa Aksesibilitas Jalan (K_1) memiliki bobot tertinggi sebesar 0.385 (38,5%), diikuti oleh Infrastruktur Listrik (K_3) sebesar 0.280 (28,0%). Hal ini mengindikasikan bahwa

kemudahan akses dan ketersediaan daya listrik menjadi prioritas utama dalam pembangunan infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik [5], [7].

Table 1. Hasil Perhitungan Bobot Kriteria AHP

Kode	Kriteria	Bobot	Persentase
K1	Aksesibilitas Jalan	0,385	38,5%
K2	<i>Points of Interest (POI)</i>	0,210	21,0%
K3	Infrastruktur Listrik	0,280	28,0%
K4	Kepadatan Ekonomi	0,125	12,5%
Total		1	100,00%

Untuk memastikan validitas hasil pembobotan, dilakukan uji konsistensi menggunakan parameter *Consistency Ratio (CR)*. Sesuai dengan teori AHP, nilai perbandingan dinyatakan konsisten jika nilai *CR* tidak lebih dari 0,1 [6]. Perhitungan sistem menghasilkan nilai *Consistency Index (CI)* dan nilai *CR* sebagai berikut:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Dengan jumlah kriteria (*n*) sebanyak 4, sistem memperoleh nilai *CR* sebesar 0.072. Karena nilai *CR* berada di bawah ambang batas ($0.072 < 0.1$), maka penilaian matriks perbandingan berpasangan dalam penelitian ini dinyatakan konsisten dan dapat digunakan untuk tahap analisis spasial selanjutnya [2], [4].

F. Implementasi dan Visualisasi Sistem

Implementasi sistem merupakan tahap perwujudan dari seluruh rancangan arsitektur ke dalam kode program fungsional menggunakan bahasa pemrograman PHP, basis data MySQL, dan pustaka Leaflet.js. Fokus utama tahap ini adalah mengintegrasikan logika perhitungan AHP di sisi *backend* dengan representasi data spasial di sisi *frontend* guna memberikan pengalaman pengguna yang interaktif dan informatif. Transformasi data dilakukan secara *real-time* mulai dari tahap input kriteria, validasi konsistensi, hingga kalkulasi bobot akhir yang akan menentukan intensitas gradasi warna pada peta rekomendasi wilayah Kota Semarang.

1) *Implementasi Antarmuka Input Matriks AHP*: Implementasi antarmuka manajemen kriteria diwujudkan melalui modul input matriks perbandingan berpasangan yang berfungsi untuk memproses data kualitatif menjadi bobot numerik secara sistematis. Halaman ini memungkinkan administrator untuk memasukkan nilai intensitas kepentingan antar variabel kriteria berdasarkan skala Saaty (1-9), di mana sistem secara otomatis menerapkan logika resiprokal ($1/n$) pada sel matriks yang berlawanan untuk menjaga konsistensi matematis sesuai standar algoritma AHP. Melalui antarmuka ini, setiap input perbandingan diproses oleh skrip PHP di sisi *backend* untuk divalidasi

kelayakannya sebelum dilakukan perhitungan bobot akhir kriteria penempatan SPKLU di wilayah Kota Semarang. Desain antarmuka yang menyertakan panduan skala perbandingan bertujuan untuk meminimalisir kesalahan input (*human error*) dan memastikan bahwa nilai *Consistency Ratio* (CR) yang dihasilkan tetap berada di bawah ambang batas 0,1 guna menjamin validitas hasil analisis pengambilan keputusan.

Panduan Skala Perbandingan AHP

Skala nilai berpasangan antara kriteria sebagai berikut:

- 1 = Sama Penting (1 - Sama Penting)
- 2 = Cukup Penting (2 - Cukup Penting)
- 3 = Sangat Penting (3 - Sangat Penting)
- 4 = Sangat Penting (4 - Sangat Penting)
- 5 = Sangat Penting (5 - Sangat Penting)

Matriks Perbandingan Kriteria

Kriteria	Aksesibilitas Jalan	Jarak ke POI	Infrastruktur Listrik	Kepadatan Ekonomi
Aksesibilitas Jalan	1	2	2	4
Jarak ke POI	1/2	1	1/2	2
Infrastruktur Listrik	1/2	2	1	4
Kepadatan Ekonomi	1/4	1/2	1/4	1

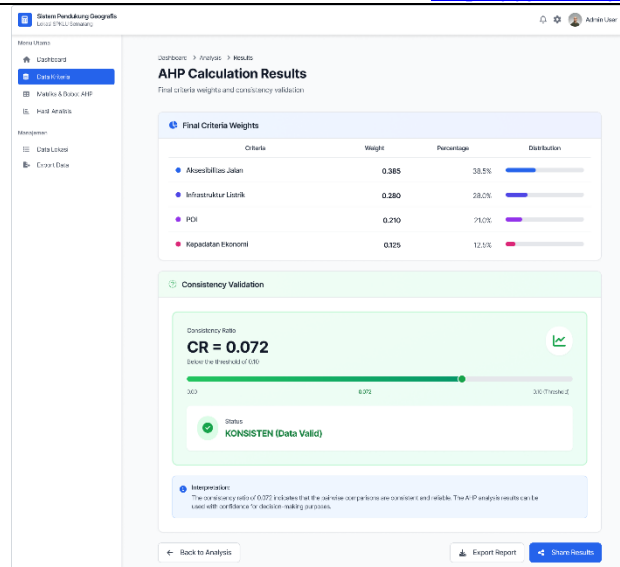
Reset Matriks Simpan Draft Kalkulasi & Validasi CR

Status Konsistensi
 Baik (0.072)
 Nilai konsistensi yang dihasilkan (0.072) lebih kecil dari nilai ambang batas (0.1), sehingga sistem memberikan status "KONSISTEN".

Bobot Kriteria
 Sistem akan menghitung bobot prioritas untuk setiap kriteria berdasarkan matriks yang telah input.

Gambar 6. Antarmuka Input Matriks Perbandingan Berpasangan AHP

2) *Implementasi Modul Hasil Kalkulasi dan Validasi CR*: Setelah proses input matriks selesai, sistem akan mengeksekusi modul kalkulasi di sisi *backend* untuk menghasilkan bobot prioritas akhir dan melakukan uji validasi melalui nilai *Consistency Ratio* (CR) sebagaimana disajikan pada Gambar 7. Antarmuka ini dirancang untuk menyajikan data secara transparan, di mana bobot untuk masing-masing kriteria ditampilkan dalam bentuk nilai desimal dan persentase guna memudahkan interpretasi oleh administrator. Fokus utama pada modul ini adalah indikator validasi konsistensi yang memberikan umpan balik visual instan; dengan perolehan nilai CR sebesar 0.072, sistem secara otomatis memberikan label status "KONSISTEN" karena nilai tersebut berada di bawah ambang batas maksimal 0,1. Hasil pembobotan akhir yang meliputi Aksesibilitas Jalan (38,5%), Infrastruktur Listrik (28,0%), POI (21,0%), dan Kepadatan Ekonomi (12,5%) disimpan ke dalam basis data MySQL untuk digunakan sebagai parameter pengali dalam tahap analisis spasial *weighted overlay*.



Gambar 7. Antarmuka Hasil Kalkulasi & Validasi CR

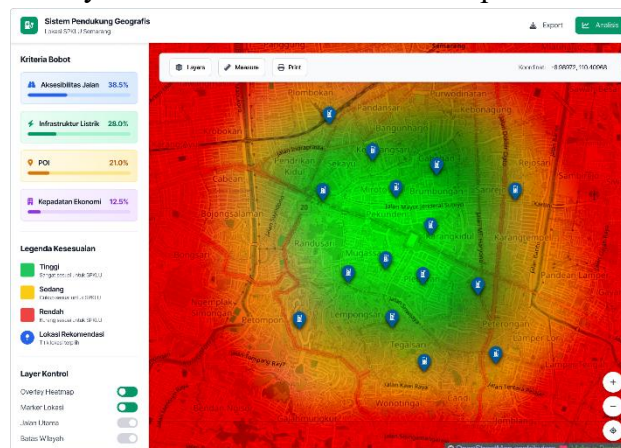
3) *Implementasi Manajemen Data Lokasi Spasial*: Implementasi manajemen data lokasi spasial dilakukan melalui modul penambahan titik potensial SPKLU di wilayah Kota Semarang, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8. Modul ini berfungsi sebagai antarmuka utama bagi administrator untuk mengintegrasikan koordinat geografis (*latitude* dan *longitude*) dengan penilaian atribut kualitatif pada setiap kriteria. Penggunaan formulir terstruktur dengan skala penilaian 1-5 bertujuan untuk mengonversi data lapangan menjadi skor numerik yang siap diolah oleh algoritma *weighted overlay*. Melalui proses ini, setiap lokasi yang didaftarkan akan tersimpan dalam basis data MySQL sebagai entitas yang memiliki bobot atribut spesifik, yang nantinya akan dikombinasikan dengan bobot kriteria hasil AHP guna menghasilkan skor kelayakan akhir bagi penempatan infrastruktur pengisian daya.

The screenshot shows the 'Tambah Data Lokasi Potensial' form. It includes a 'Data Spasial' section with fields for 'Nama Lokasi', 'Latitude', and 'Longitude'. Below this is a 'Skor Kriteria (Skala 1-5)' section with dropdown menus for 'Skor Akses Jalan', 'Skor Akses POI', 'Skor Infrastruktur Listrik', and 'Skor Kapabilitas Ekonomi'. A 'Simpan Data' button is at the bottom right.

Gambar 8. Antarmuka Tambah Data Lokasi Potensial

4) *Visualisasi Peta Rekomendasi Lokasi SPKLU*: Visualisasi peta rekomendasi merupakan luaran utama sistem yang mengintegrasikan seluruh parameter bobot AHP dan skor lokasi ke dalam representasi geografis berbasis Leaflet.js, sebagaimana disajikan

pada Gambar 9. Peta ini menyajikan hasil analisis *weighted overlay* dalam bentuk *heatmap*, di mana gradasi warna hijau merepresentasikan zona dengan tingkat kesesuaian tinggi yang memenuhi kriteria aksesibilitas jalan dan infrastruktur listrik utama di wilayah Kota Semarang, sementara penempatan *marker* lokasi pada area tersebut memberikan informasi titik rekomendasi yang paling strategis berdasarkan kalkulasi skor kelayakan tertinggi yang telah diproses oleh sistem. Melalui antarmuka yang dinamis, pengguna dapat berinteraksi dengan layer kontrol untuk membandingkan sebaran lokasi potensial terhadap infrastruktur pendukung lainnya, sehingga mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih objektif dan efisien dalam perencanaan pembangunan infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik di masa depan.



Gambar 9. Visualisasi Peta Rekomendasi (Heatmap)

G. Analisis Lokasi Strategis

Berdasarkan hasil visualisasi pada Gambar 9, sistem telah mengidentifikasi zona-zona potensial dengan skor kelayakan tertinggi di Kota Semarang yang didominasi oleh area pusat kota dan koridor jalan arteri primer. Analisis ini dilakukan dengan membedah lima titik lokasi yang memiliki nilai *Weighted Overlay* paling optimal, di mana setiap lokasi mewakili karakteristik unik berdasarkan ketersediaan infrastruktur listrik dan intensitas kegiatan ekonomi yang ada.

1) *Analisis Klaster Pusat Kota (Semarang Tengah)*: Kawasan pusat kota yang mencakup Kelurahan Miroto, Brumbungan, Pekunden, dan Randusari menunjukkan tingkat kesesuaian tertinggi dalam model *weighted overlay* sebagaimana terlihat pada sebaran *marker* di zona hijau pekat (Gambar 9). Tingginya skor di wilayah ini merupakan implikasi langsung dari integrasi kriteria *Points of Interest* (POI) sebesar 21,0% dan Kepadatan Ekonomi sebesar 12,5%, di mana kawasan tersebut merupakan hub aktivitas komersial utama di Kota Semarang. Lokasi-lokasi ini memiliki keunggulan kompetitif karena berada di jalur arteri primer yang memudahkan akses pengguna kendaraan listrik sekaligus didukung oleh jaringan utilitas listrik tegangan menengah yang masif, sehingga memenuhi syarat teknis dan ekonomis untuk pembangunan SPKLU tipe *fast charging*.

2) *Evaluasi Titik Rekomendasi Sektor Selatan dan Timur*: Perluasan zona hijau ke arah Selatan (Tegalsari dan Pleburan) serta sebagian wilayah Timur menunjukkan potensi pengembangan infrastruktur pengisian daya yang didorong oleh aksesibilitas jalan raya

utama yang menghubungkan pusat kota dengan kawasan pendidikan dan residensial menengah ke atas. Wilayah Pleburan dan Tegalsari memiliki karakteristik skor yang unik, di mana meskipun kepadatan ekonominya tidak setinggi area Pekunden, namun ketersediaan lahan parkir pada fasilitas umum (POI) memberikan nilai tambah bagi kenyamanan durasi pengisian daya. Konsistensi sistem dalam menempatkan *marker* pada wilayah ini membuktikan bahwa algoritma AHP telah berhasil menyeimbangkan antara kebutuhan teknis daya listrik dengan kebutuhan fungsional mobilitas pengguna di titik-titik strategis Kota Semarang.

3) *Implikasi Hasil Terhadap Perencanaan Infrastruktur*: Hasil visualisasi *heatmap* menunjukkan adanya kesenjangan kelayakan yang signifikan antara pusat kota dengan wilayah pinggiran Kota Semarang yang didominasi warna merah, menandakan perlunya prioritas pembangunan pada zona-zona yang telah teridentifikasi oleh sistem. Dominasi kriteria aksesibilitas jalan (38,5%) memastikan bahwa lokasi yang direkomendasikan tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga efisien dalam mengurangi jarak tempuh pengguna menuju titik pengisian daya terdekat. Secara keseluruhan, implementasi SIG berbasis SPK ini memberikan landasan data spasial yang objektif bagi pemangku kepentingan untuk melakukan investasi infrastruktur energi hijau secara tepat sasaran, meminimalisir risiko kegagalan lokasi, dan mendukung akselerasi ekosistem kendaraan listrik di Kota Semarang.

5. Kesimpulan dan saran

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: Sistem informasi geografis berbasis sistem pendukung keputusan berhasil dibangun dengan mengintegrasikan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *weighted overlay* untuk penentuan lokasi SPKLU di Kota Semarang secara objektif. Hasil perhitungan AHP menetapkan bobot prioritas kriteria sebagai berikut: Aksesibilitas Jalan (38,5%), Infrastruktur Listrik (28,0%), *Points of Interest* (21,0%), dan Kepadatan Ekonomi (12,5%). Validitas hasil pembobotan dinyatakan konsisten dan akurat dengan perolehan nilai *Consistency Ratio* (CR) sebesar 0,072, yang berada di bawah ambang batas maksimal 0,1. Analisis spasial melalui *heatmap* mengidentifikasi kawasan Semarang Tengah, khususnya Kelurahan Pekunden, Miroto, dan Brumbungan, sebagai wilayah dengan tingkat kesesuaian tertinggi untuk pembangunan infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik.

Saran

Untuk meningkatkan fungsionalitas dan akurasi sistem di masa depan, terdapat beberapa saran pengembangan yang dapat dilakukan: Menambahkan variabel data dinamis seperti arus kemacetan lalu lintas secara *real-time* dan mempertimbangkan faktor risiko bencana seperti banjir atau kemiringan lereng untuk meningkatkan ketepatan lokasi. Mengintegrasikan algoritma *Machine Learning* untuk memprediksi pola pertumbuhan kebutuhan energi listrik berdasarkan tren peningkatan jumlah pengguna kendaraan listrik di masa depan. Memperluas cakupan wilayah analisis hingga ke daerah

penyangga (Semarang Raya) dan mengintegrasikan sistem dengan aplikasi *mobile* untuk memudahkan pengguna akhir dalam menemukan lokasi SPKLU terdekat.

Daftar Pustaka

- [1] L. Sun, "Site selection for EVCSs by GIS-based AHP method," *E3S Web Conf.*, vol. 194, pp. 1–5, 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202019405051.
- [2] D. P. Ramadhani and C. Susetyo, "Kendaraan Listrik Umum di Kota Denpasar Menggunakan Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Geographic Information System (GIS)," *Tataloka*, vol. 27, no. 3, pp. 267–280, 2025, doi: 10.14710/tataloka.27.3.267-280.
- [3] X. Zeng, "Spatial Optimization for Electric Vehicle Charging Station Locations Using A GIS-Based Approach: A Case Study from Minnesota, USA," *Adv. Cartogr. GIScience ICA*, vol. 5, no. August, pp. 1–8, 2025, doi: 10.5194/ica-adv-5-36-2025.
- [4] G. Spyropoulos, M. Katopodi, K. Christopoulos, and E. Kostopoulos, "A Hybrid GIS–MCDM Approach to Optimal EV Charging Station Siting for Urban Planning and Decarbonization," *Futur. Transp.*, vol. 5, no. 4, pp. 1–27, 2025, doi: 10.3390/futuretransp5040186.
- [5] B. Huang, Z. Wang, J. Chen, B. Zhou, Y. Zhu, and Y. Liu, "Research on Site Selection and Capacity Determination of Electric Vehicle Public Charging Stations by Integrating K-Means++ and Improved RODDPSO," *Radioengineering*, vol. 34, no. 2, pp. 181–194, 2025, doi: 10.13164/re.2025.0181.
- [6] M. K. Özkök, G. Karadaş, E. Öztürk, and I. Oruc, "Suitable Area Location Selection for Electric Vehicle Charging Stations with Fuzzy AHP : Balıkesir Example *," vol. 5, no. 2, pp. 86–100, 2025.
- [7] K. Al Momin, A. M. Sadri, K. K. Muraleetharan, R. Campos, and P. S. Harvey, "Application of multi-criteria decision analysis for optimal siting of electric vehicle charging stations in Oklahoma," *Transp. Eng.*, vol. 20, no. November 2024, p. 100325, 2025, doi: 10.1016/j.treng.2025.100325.
- [8] Zelania In Haryanto and Sayyidah Maulidatul Afraah, "Penentuan Lokasi Pengisian Ulang Kendaraan Listrik untuk Distribusi Last Mile Menggunakan Set Covering Problem di Semarang," *Jural Ris. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 3, no. 2, pp. 35–45, 2025, doi: 10.55606/jurritek.v4i3.6308.
- [9] A. S. Lesmana and I. K. Gunarta, "Jurnal Impresi Indonesia (JII) Analisis Pemilihan Lokasi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) di DKI Jakarta Menggunakan Geographic Information System dan Analytical Hierarchy Process," vol. 4, no. 12, pp. 5474–5481, 2025.
- [10] M. Erbaş, M. Kabak, E. Özceylan, and C. Çetinkaya, "Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis," *Energy*, vol. 163, pp. 1017–1031, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.08.140.
- [11] M. Kazempour, H. Sabboubbeh, K. Pirouz Moftakhari, R. Najafi, and G. Fusco, "GIS-based geospatial analysis for identifying optimal locations of residential on-street electric vehicle charging points in Birmingham, UK," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 120, no. July 2024, 2025, doi: 10.1016/j.scs.2024.105988.
- [12] A. J. Saputra and Suharjito, "Optimization Strategy for Electric Vehicle Charging Station Development at Gas Stations Using GIS-AHP-SAW Framework," vol. 6, no. 6, pp. 5401–5417, 2025.