

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mendukung penentuan lokasi optimal dan kelayakan investasi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU), baik dengan pendekatan spasial maupun finansial. Berikut penelitian yang relevan mengenai optimalisasi lokasi SPKLU dengan GIS dan kelayakan investasi SPKLU:

1. Sugiento *et al.* menggunakan pendekatan *Geographic Information System* (GIS) berbasis ArcGIS untuk menentukan lokasi SPKLU paling sesuai di Kota Surabaya. Mereka mempertimbangkan kriteria spasial seperti kedekatan dengan jalan utama, pusat aktivitas masyarakat, dan infrastruktur kelistrikan untuk menghasilkan peta zona prioritas pembangunan. Penelitian ini menunjukkan pentingnya dukungan SIG dalam pengambilan keputusan berbasis lokasi. [7].
2. Purnama Jaya dan Hidayat menerapkan teknik *overlay* dan *kernel density* dalam GIS untuk mengevaluasi lokasi SPKLU di kawasan Segitiga Emas Jakarta. Mereka mengidentifikasi empat titik potensial dengan prioritas tertinggi di sekitar World Trade Centre, dan merekomendasikan metode AHP untuk memperkuat pengambilan keputusan spasial [8].
3. Ilham Saputra dan Andi Syofian fokus pada aspek keekonomian SPKLU *ultra-fast charging* dengan metode NPV, IRR, dan BCR. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan Gambaran prospek Pembangunan Stasiun Kendaraan Listrik di Indonesia dengan menghitung kelayakan investasi, *Net Present Value* (NPV), *Benefit Cost Ratio* (BCR), *Internal Rate of Return* (IRR) [9].
4. Hidayatul Ummah menggabungkan metode *Spatial Multi-Criteria Evaluation* (SMCE) dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk menilai kesesuaian lokasi SPKLU di Surabaya. Penelitian ini mempertimbangkan kriteria lingkungan, infrastruktur, sosial-ekonomi, dan energi, serta menyarankan validasi model dan uji sensitivitas sebagai bagian dari penguatan hasil [10].

5. Ren dan Sun mengembangkan metode AHP-Entropy dalam GIS untuk mengeksplorasi permintaan lokasi SPKLU di Jinan, China. Mereka mengidentifikasi lima faktor utama: infrastruktur, lalu lintas, tata guna lahan, aspek wilayah, dan distribusi populasi. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa infrastruktur merupakan faktor paling dominan dalam memengaruhi permintaan [11].
6. Vagropoulos *et al.* menganalisis kelayakan finansial infrastruktur SPKLU tipe fast charging di Yunani. Mereka menemukan bahwa tanpa insentif pemerintah, investasi belum layak secara finansial. Namun, skenario sambungan tegangan rendah dan skema tarif tetap (flat rate) dapat meningkatkan kelayakan signifikan. [12].
7. Hamzah *et al.* menilai kelayakan finansial sebuah usaha rintisan *Milksix* dengan metode NPV, ROR, dan *payback period*. NPV yang positif (Rp949,25 juta), ROR 24,37%, dan *payback period* hanya 1 tahun 3 bulan menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat diadopsi dalam analisis kelayakan proyek energi juga [13].
8. Wahyudi dan Utomo melakukan sebuah penelitian pada Proyek Pembangunan Apartemen Bale Hinggil Surabaya. Penelitian ini menganalisis tiga skenario pendapatan yakni skema penjualan, penyewaan serta kombinasi dari keduanya. Hasil analisis menunjukkan strategi penjualan penuh memberikan nilai NPV dan IRR tertinggi, sehingga menjadi opsi paling menguntungkan dari segi finansial. Kemudian dilakukan analisis sensitivitas terhadap tiga variabel utama yaitu suku bunga, biaya investasi dan harga jual atau sewa. Sistem penjualan seluruh unit merupakan alternatif terbaik dan paling aman dari segi investasi [14].
9. Siregar dan Prabowo (2023) dalam penelitiannya mengenai desain bisnis SPKLU di jalur Tol Trans Jawa menggunakan pendekatan sistem dinamis, menunjukkan bahwa kelayakan finansial SPKLU sangat dipengaruhi oleh tingkat utilitas charger. Dengan asumsi utilitas penuh (100%), proyek menghasilkan NPV positif dan IRR tinggi (27%). Namun, dalam skenario utilitas 45%, NPV menjadi negatif dan proyek tidak layak, kecuali diperpanjang hingga 15 tahun. Studi ini menegaskan bahwa model bisnis seperti BOO dan BOT harus disesuaikan dengan proyeksi utilisasi agar investasi menguntungkan [15].

10. Insan et al. (2022) membahas perbandingan tiga skenario SPKLU untuk mendukung pariwisata ramah lingkungan di Thailand, yaitu normal charger, fast charger, dan kombinasi keduanya. Hasilnya menunjukkan bahwa fast charger memberikan waktu pengembalian modal lebih cepat, sedangkan skenario kombinasi optimal dari sisi margin keuntungan dan keberlanjutan lokasi. Ini menunjukkan bahwa model bisnis SPKLU perlu disesuaikan dengan profil demand dan karakteristik lokasi [16].
11. Wang et al. (2025) meneliti peran Public-Private Partnership (PPP) dalam percepatan pembangunan SPKLU. Temuan mereka menegaskan pentingnya strategi pembagian hasil, pemberian subsidi yang tepat, dan tarif layanan yang menarik untuk mendorong utilisasi charger serta kelayakan proyek. Dalam skema PPP yang sehat, keseimbangan antara insentif swasta dan kepentingan publik dapat tercapai [17].
12. Chiradeja et al. (2025) mengkaji investasi SPKLU di gedung perumahan bertingkat. Hasilnya menunjukkan bahwa proyek sangat sensitif terhadap margin keuntungan per kWh dan tingkat utilisasi. Penurunan 10% dalam utilisasi dapat membalikkan arus kas menjadi negatif. Ini menggarisbawahi pentingnya estimasi permintaan dan strategi harga yang akurat dalam model bisnis SPKLU [18].

Tabel 2. 1 Ringkasan Penelitian Relevan

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Hasil Penelitian	GAP	Tahun
	Penentuan Lokasi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum Yang Optimum Dengan Menggunakan Metode Analisis Spasial	Sugianto, A. M.	Mengidentifikasi wilayah paling sesuai untuk pembangunan SPKLU di Kota Surabaya dengan ArcGIS. Hasilnya berupa zona prioritas lokasi berdasarkan kedekatan jalan, aktivitas masyarakat, dan infrastruktur listrik.	Belum mengkaji aspek kelayakan investasi dan model bisnis, hanya fokus spasial.	2023
2	Analisis Transportasi Untuk Lokasi Pengisian Bahan Bakar Moda Kendaraan Listrik	G. P. Jaya and J. T. Hidayat	Menganalisis lokasi SPKLU di kawasan Segitiga Emas Jakarta dengan GIS overlay & kernel density. Menemukan empat lokasi potensial, dengan World Trade Centre sebagai prioritas utama.	Belum menggunakan AHP secara langsung, dan tidak menyinggung kelayakan investasi atau model bisnis.	2024
3	Analisa Ekonomi Teknik Pada Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum	I. Saputra, A. Syofian, A. Anugrah, S. Bandri, and Erhaneli	Menyatakan proyek SPKLU ultra fast charging sangat layak dengan NPV Rp10,66 miliar, IRR 65,24%, BCR 2,9, dan Payback Period 40 bulan.	Hanya menilai ekonomi, belum memasukkan faktor spasial maupun strategi bisnis.	2023
4	Analisis Kesesuaian Lokasi SPKLU di Kota Surabaya	Hidayatul Ummah, M	Menggunakan SMCE-AHP untuk menilai kesesuaian lokasi SPKLU di Surabaya. Hasilnya berupa peta zonasi dan titik prioritas. Menekankan validasi model dan sensitivitas.	Belum ada evaluasi aspek finansial dan kelayakan investasi, hanya menekankan teknis lokasi.	2023
5	Using AHP-Entropy method to explore the influencing factors of spatial demand of EVs public charging stations	Q. Ren and M. Sun	Menggunakan metode AHP-Entropy untuk menentukan faktor dominan permintaan SPKLU. Infrastruktur menjadi faktor paling signifikan, diikuti lalu lintas, penggunaan lahan, dan distribusi populasi.	Studi luar negeri, sehingga belum bisa langsung diaplikasikan pada konteks regulasi & kondisi Indonesia.	2021

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Hasil Penelitian	GAP	Tahun
6	Financial Viability of Investment in Electric Vehicle Fast Charging Infrastructure	S. I. Vagropoulou, A. P. Kleidas, and A. G. Bakirtzis	Menilai kelayakan finansial SPKLU fast charging. Tanpa insentif, proyek kurang layak, terutama di wilayah dengan sedikit pengguna EV.	Hanya fokus finansial, tidak membahas lokasi optimal atau integrasi dengan perencanaan spasial.	2022
7	Analisis Kelayakan Finansial Perencanaan Usaha Milk six Menggunakan Metode NPV, Payback Period dan ROR	D. Hamzah et al	Studi bisnis non-SPKLU (industri minuman). Hasil menunjukkan usaha layak dijalankan (NPV positif, ROR 24,37%, Payback 1,3 tahun).	Tidak relevan langsung ke SPKLU, tetapi memberi gambaran metode analisis investasi.	2024
8	Analisis Investasi pada Proyek Pembangunan Apartemen Bale Hinggil Surabaya	O. O. Wahyudhi and C. C. Utomo	Penelitian ini menilai investasi pembangunan apartemen dengan tiga skema pendapatan yaitu penjualan, sewa, dan gabungan.. Hasilnya, skema penjualan penuh dinilai paling layak secara finansial dengan NPV Rp155,9 miliar dan IRR 46,62%, serta paling tahan terhadap fluktuasi variabel ekonomi.	Bukan bidang energi/transportasi, tetapi memberi insight tentang skema investasi yang bisa dibandingkan untuk SPKLU.	2023
9	Business Design of Public Electric Vehicle Charging Stations for Trans Java Cikampek – Surabaya Toll With The Dynamic System Approach	W. N. Siregar, E. Prabowo	Menganalisis desain bisnis SPKLU di rest area tol menggunakan pendekatan sistem dinamis. Menunjukkan bahwa proyek sangat sensitif terhadap tingkat utilisasi. Utilisasi rendah menyebabkan NPV negatif kecuali masa proyek diperpanjang.	Belum mengintegrasikan aspek spasial dan belum membandingkan 3 skema investasi.	2023

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Hasil Penelitian	GAP	Tahun
10	The Business Analysis of Electric Vehicle Charging Stations to Power Environmentally Friendly Tourism	D. Insan, W. Rakwichi an, P. Rachapradit, P. Thanarak	Membandingkan 3 skenario model bisnis SPKLU (normal, fast, dan kombinasi). Menyimpulkan bahwa fast charger lebih menguntungkan secara finansial.	Belum mencakup skema investasi PLN/swasta/PP, fokus pada jenis charger.	2022
11	Can Public-Private Partnerships Promote Sustainable EV Charging Infrastructure Deployment?	Y. Wang, K. Jiang, Y. Liu, Y. Jiang, Y. Huang	Meneliti model PPP untuk pengembangan SPKLU. Menemukan bahwa skema bagi hasil, subsidi seimbang, dan penetapan tarif sangat berpengaruh terhadap kelayakan dan keberlanjutan.	Tidak membahas kelayakan spasial dan lokasi optimal charger.	2025
12	Analysis of Investment Feasibility for EV Charging Stations in Residential Buildings	P. Chiradeja, S. Yoomak, C. Sottiyaphai, et al.	Menunjukkan bahwa proyek sangat sensitif terhadap utilisasi dan margin harga jual per kWh. Penurunan 10% utilisasi berisiko membuat proyek rugi.	Fokus pada SPKLU di apartemen, tidak membahas area publik atau kota.	2025
13	Penelitian ini	Masyitah Jumaidi	Penelitian ini menggabungkan metode GIS dan AHP untuk menentukan lokasi optimal SPKLU di Banda Aceh, serta menganalisis kelayakan investasinya menggunakan indikator NPV, IRR, dan PP serta menentukan model bisnis yang paling efektif.	Belum diterapkan di daerah lain; masih bersifat studi kasus tunggal.	2025

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Kendaraan Listrik

Penggunaan kendaraan listrik merupakan konteks utama dalam penelitian ini, sehingga pemahaman mengenai definisi, jenis-jenis, dan dukungan kebijakan terhadap kendaraan listrik perlu diuraikan. Kendaraan listrik adalah kendaraan bermotor yang digerakkan oleh motor listrik dengan pasokan energi dari baterai yang dapat diisi ulang. Menurut Peraturan Presiden RI Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai, yang dimaksud kendaraan bermotor listrik berbasis baterai (KBLBB) adalah kendaraan bermotor yang digerakkan dengan motor listrik dan memperoleh pasokan tenaga listrik dari baterai di kendaraan secara langsung maupun dari sumber luar. Dengan kata lain, kendaraan listrik tidak menggunakan mesin pembakaran internal sebagai sumber tenaganya, sehingga tidak menghasilkan emisi gas buang saat beroperasi.

Berdasarkan sumber tenaganya, kendaraan listrik dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis utama:

a. *Battery Electric Vehicle (BEV)*

Adalah kendaraan listrik yang paling umum digunakan. Kendaraan listrik jenis BEV digerakkan oleh motor listrik dan menggunakan baterai sebagai sumber energi satu satunya. BEV tidak memiliki mesin pembakaran internal sama sekali, sehingga nol emisi saat beroperasi dan dianggap paling ramah lingkungan di antara jenis kendaraan listrik.

b. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)*

Adalah Kendaraan listrik hibrida yang menggabungkan motor listrik dengan mesin bensin konvensional, serta dilengkapi baterai yang dapat diisi ulang melalui jaringan listrik eksternal (*plug-in*). PHEV dapat beroperasi dengan tenaga listrik saja untuk jarak tertentu (misalnya untuk perjalanan pendek), dan beralih menggunakan mesin bensin untuk jarak yang lebih jauh atau ketika baterai habis. Dengan konfigurasi ini, PHEV menawarkan fleksibilitas dan jangkauan yang lebih panjang dibanding BEV, meskipun masih menghasilkan emisi bila mesin bensin menyala.

c. *Hybrid Electric Vehicle* (HEV)

Adalah kendaraan hibrida yang juga memiliki motor listrik dan mesin pembakaran internal, namun tidak dapat di-charge dari sumber listrik eksternal. Baterai pada HEV diisi secara otomatis melalui mekanisme seperti *regenerative braking* dan bantuan mesin bensin saat kendaraan berjalan. HEV umumnya selalu menggunakan kombinasi dua sumber tenaga tersebut saat beroperasi, sehingga efisiensi bahan bakarnya lebih tinggi daripada mobil konvensional murni, tetapi tetap menghasilkan emisi karena masih bergantung pada bensin.

d. *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV)

Adalah kendaraan listrik yang menggunakan *fuel cell* (sel bahan bakar), biasanya hidrogen, untuk menghasilkan listrik yang kemudian menggerakkan motor listrik. FCEV tidak perlu di-charge seperti BEV, melainkan *diisi* dengan hidrogen. Proses kimia di dalam fuel cell menghasilkan listrik dan hanya mengeluarkan uap air sebagai emisi. Dengan demikian, FCEV merupakan salah satu alternatif transportasi yang sangat ramah lingkungan, meski infrastruktur pengisian hidrogen masih terbatas pengembangannya.

Sebagai langkah mendorong adopsi kendaraan listrik, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai kebijakan strategis. Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2019, misalnya, memuat beberapa poin penting untuk mempercepat program KBLBB, antara lain:

- i. Mendorong pengembangan industri kendaraan bermotor listrik nasional beserta pendukungnya,
- ii. Memberikan berbagai insentif kepada produsen maupun konsumen kendaraan listrik (seperti insentif pajak, subsidi, dan kemudahan impor),
- iii. Mewajibkan instansi pemerintah, BUMN, dan pemerintah daerah untuk menggunakan KBLBB sebagai kendaraan operasional secara bertahap
- iv. Mendukung penyediaan infrastruktur pengisian listrik seperti SPKLU dan Stasiun Penukaran Baterai Kendaraan Listrik Umum (SPBKLU).
- v. Menugaskan PT PLN (Persero) sebagai pihak yang memfasilitasi penyediaan tenaga listrik untuk pengisian kendaraan listrik.

2.2.2 Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU)

SPKLU adalah singkatan dari Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum merupakan infrastruktur pendukung utama dalam ekosistem kendaraan listrik, karena berfungsi sebagai tempat pengisian daya bagi kendaraan listrik berbasis baterai. Penelitian ini secara spesifik berfokus pada optimasi lokasi dan kelayakan investasi SPKLU, sehingga pemahaman mengenai definisi, standar teknis, serta perkembangan SPKLU sangat diperlukan. Menurut Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2020 [19], SPKLU didefinisikan sebagai instalasi penyedia tenaga listrik yang digunakan untuk mengisi ulang kendaraan bermotor listrik berbasis baterai, yang dapat dimiliki dan dikelola oleh Badan Usaha Penyedia Tenaga Listrik atau pihak ketiga yang bekerja sama dengan PLN. Dengan kata lain, SPKLU adalah infrastruktur pengisian daya publik yang pengelolaannya bisa dilakukan oleh pemerintah (melalui PLN) maupun swasta dengan izin tertentu. Keberadaan SPKLU secara langsung mendukung kebijakan transisi energi bersih dan pengurangan emisi karbon, karena tersedianya SPKLU yang memadai akan meningkatkan kepercayaan masyarakat untuk beralih ke kendaraan listrik. Gambar 2.1 Menunjukkan Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik (SPKLU) di Banda Aceh.



Gambar 2. 1 Menunjukkan Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik (SPKLU)

Dalam beberapa tahun terakhir, jumlah SPKLU di Indonesia terus bertambah seiring meningkatnya komitmen pemerintah dan PLN untuk membangun infrastruktur ini. Hingga awal 2025, Indonesia telah memiliki total 3.233 unit SPKLU yang tersebar di 2.306 lokasi di berbagai wilayah. Di Provinsi Aceh sendiri terdapat 25 unit SPKLU yang telah terpasang. Khusus di Kota Banda Aceh, ketersediaan SPKLU masih sangat terbatas. Saat ini tercatat ada dua SPKLU yang beroperasi di Banda Aceh, keduanya berlokasi di fasilitas PLN, yaitu di Kantor PLN Unit Induk Wilayah (UIW) Aceh (Jl. Teuku H. Daud Beureueh No. 172, Lampriet) dan di Kantor PLN UP3 Banda Aceh (Jl. Tentara Pelajar No. 11). Jumlah ini jelas jauh lebih rendah dibandingkan kota-kota besar lain di Indonesia, sehingga menjadi tantangan tersendiri bagi percepatan adopsi kendaraan listrik di Banda Aceh. Minimnya SPKLU menyebabkan pengguna EV di Banda Aceh memiliki akses pengisian daya yang terbatas, apalagi beberapa SPKLU yang ada pun lokasinya belum sepenuhnya strategis (misalnya berada di area dengan lalu lintas rendah). Kondisi ini memperkuat urgensi penelitian untuk merencanakan penambahan SPKLU di lokasi optimal di Banda Aceh.

Secara teknis, SPKLU dapat dilengkapi dengan berbagai tipe konektor guna memastikan kompatibilitas dengan beragam kendaraan listrik. Standar di Indonesia (mengacu pada SNI 62196-2 dan SNI 62196-3) mengenal tiga jenis konektor utama yang digunakan di SPKLU, yaitu:

a. Konektor Tipe 2 (*IEC Type 2*)

Jenis Konektor arus bolak-balik (AC) yang umum dipakai untuk pengisian daya lambat hingga menengah (daya sekitar 3,7 kW sampai 22 kW). Konektor Tipe 2 banyak diadopsi oleh produsen kendaraan listrik Eropa dan telah menjadi standar di berbagai SPKLU, cocok untuk pengisian di rumah maupun fasilitas umum karena mendukung *charging* AC tingkat menengah. Gambar 2.2 menunjukkan konektor tipe 2 (*IEC Type 2*).



Gambar 2. 2 Konektor Tipe 2 (IEC Type 2)

b. Konektor Tipe AA atau CHAdeMO

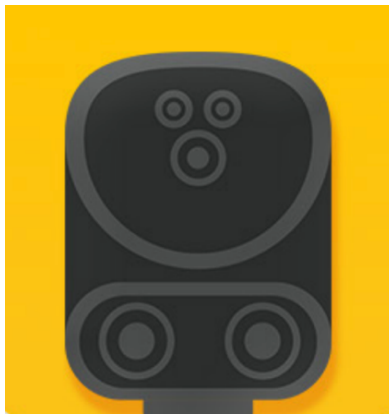
Jenis konektor arus searah (DC) yang dirancang untuk pengisian cepat, berasal dari standar Jepang. CHAdeMO mampu mengisi daya dalam waktu singkat (*fast charging*) dan pernah banyak digunakan secara global, namun kompatibilitasnya terbatas pada model-model kendaraan tertentu (umumnya mobil produksi Asia). Meski demikian, di beberapa negara termasuk Indonesia, CHAdeMO masih tersedia di SPKLU karena mampu memberikan opsi pengisian daya berkecepatan tinggi bagi kendaraan yang mendukungnya. Gambar 2.3 menunjukkan konektor tipe AA atau CHAdeMO



Gambar 2. 3 Konektor Tipe AA atau CHAdeMO

c. *Combined Charging System (CCS) Tipe 2*

Konektor gabungan AC/DC yang merupakan standar internasional terbaru (disebut juga konektor Tipe FF/CCS2). CCS Tipe 2 menawarkan fleksibilitas karena satu port dapat digunakan untuk pengisian AC maupun DC. Dalam mode DC, CCS2 mendukung pengisian ultra-cepat dengan daya di atas 150 kW, sehingga menjadi pilihan utama untuk SPKLU berkapasitas besar seperti di rest area jalan tol. Berkat efisiensi dan fleksibilitasnya, CCS2 kini banyak diadopsi oleh produsen EV global dan diunggulkan sebagai standar konektor masa depan. Gambar 2.4 menunjukkan *combined charging system (CCS)* tipe 2.



Gambar 2. 4 *Combined Charging System (CCS) Tipe 2*

SPKLU juga dapat dikategorikan berdasarkan besaran daya listrik yang disuplai dan kecepatan pengisian yang diberikan pada baterai kendaraan. Secara umum, terdapat empat kategori tingkat pengisian :

a. *Pengisian Lambat (Slow Charging)*

Menggunakan listrik AC berdaya rendah (~ 220 V, 2,2–7,4 kW) dengan durasi pengisian sekitar 6–12 jam. Tipe ini biasanya dipakai untuk pengisian di rumah atau perkantoran kecil. Kelebihannya adalah peralatan yang sederhana dan biaya instalasi relatif rendah karena dapat memanfaatkan jaringan listrik rumah tangga biasa.

b. Pengisian Menengah (*Medium Charging*)

Umumnya menggunakan daya 11–22 kW (AC), mampu mengisi dalam waktu 4–6 jam. SPKLU menengah sering dijumpai di fasilitas publik seperti gedung perkantoran, pusat perbelanjaan, atau parkir umum, sebagai layanan bagi pengguna yang meninggalkan kendaraannya beberapa jam.

c. Pengisian Cepat (*Fast Charging*)

Menggunakan listrik DC berdaya sekitar 50–150 kW, sehingga dapat mengisi baterai dalam waktu relatif singkat (sekitar 30–90 menit). SPKLU tipe *fast charging* biasanya ditempatkan di lokasi-lokasi strategis yang membutuhkan pelayanan cepat, misalnya SPBU, rest area, atau area publik dengan mobilitas tinggi.

d. Pengisian Sangat Cepat (*Ultra – Fast Charging*)

Menggunakan listrik DC dengan daya di atas 150 kW (misal 150–350 kW), memungkinkan pengisian baterai hanya dalam waktu kurang dari 30 menit. Teknologi ultra-fast umumnya diterapkan di SPKLU skala besar seperti di jalur tol atau fasilitas transit, karena membutuhkan infrastruktur kelistrikan khusus berkapasitas tinggi dan investasi yang lebih mahal. Meskipun biaya dan kebutuhan daya listriknya besar, kategori ultra-fast memberikan kenyamanan maksimal bagi pengguna kendaraan listrik yang memerlukan pengisian segera.

Selain peningkatan kapasitas, belakangan ini beberapa SPKLU juga telah dilengkapi dengan fitur *smart charging*. Teknologi *smart charging* memungkinkan pengaturan daya secara otomatis dan dinamis sesuai kebutuhan kendaraan serta kondisi beban jaringan listrik. Misalnya, SPKLU pintar dapat menjadwalkan pengisian saat beban jaringan rendah atau membagi arus secara efisien ketika multiple kendaraan mengisi bersamaan. Penerapan teknologi ini bertujuan meningkatkan efisiensi, menjaga kestabilan jaringan, dan memberikan kenyamanan lebih bagi operator maupun pengguna SPKLU.

Standar dan Regulasi Teknis SPKLU. Untuk memastikan keamanan, interoperabilitas, dan keandalan operasional, pemerintah melalui Badan Standardisasi Nasional (BSN) telah menerbitkan sejumlah Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait kendaraan listrik dan infrastrukturnya.

Beberapa standar utama antara lain:

- i. SNI IEC 61851-1:2017 yang mengatur sistem pengisian daya konduktif untuk kendaraan listrik, mencakup aspek instalasi, performa dan keselamatan pengguna.
- ii. SNI ISO 6469-3:2020 yang memberikan panduan keselamatan bagi kendaraan listrik terkait risiko sengatan listrik dan sistem tegangan tinggi di dalam kendaraan.
- iii. SNI IEC 62196-2:2-17 yang menetapkan spesifikasi teknis konektor pengisian tipe 2 (dan tipe 3) agar kompatibel dengan berbagai model kendaraan listrik global.

Mengingat tingginya biaya investasi awal SPKLU, pemerintah Indonesia telah menggulirkan berbagai insentif untuk mendorong peran serta investor dan mempercepat pembangunan infrastruktur ini. Insentif yang diberikan terbagi dalam insentif fiskal dan non-fiskal, pemerintah memberikan antara lain :

a. Insentif Fiskal

- i. Pembebasan bea masuk atas impor peralatan *charging* EV.
- ii. Pengurangan atau keringanan pajak bagi badan usaha yang menanamkan modalnya di sektor infrastruktur kendaraan listrik.
- iii. Tarif khusus pasokan listrik di SPKLU untuk menekan biaya operasional.

b. Insentif Non-Fiskal

- i. Pemerintah mempermudah dan mempercepat proses perizinan pembangunan SPKLU melalui sistem perizinan terpadu daring (Online Single Submission/OSS).
- ii. Memberikan kemudahan penggunaan lahan fasilitas umum (seperti area parkir gedung pemerintah, rest area jalan tol, stasiun, bandara) untuk lokasi SPKLU

- iii. Memastikan prioritas penyambungan daya listrik dari PLN bagi lokasi-lokasi SPKLU yang baru.

2.2.3 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) atau *Geographic Information System (GIS)* adalah sistem berbasis komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, mengelola, menganalisis, dan memvisualisasikan data yang bergeoreferensi (memiliki informasi lokasi di permukaan bumi). SIG mengintegrasikan data spasial (keruangan) dengan data atribut (karakteristik deskriptif) untuk memahami pola, hubungan, dan tren geografis secara komprehensif. Menurut ESRI, SIG merupakan kumpulan komponen (perangkat keras, perangkat lunak, data, sumber daya manusia) yang bekerja bersama untuk mengelola data berbasis lokasi serta menyajikannya dalam bentuk visual (peta) dan analitis. Dengan kemampuan tersebut, SIG telah menjadi alat penting dalam berbagai bidang, mulai dari perencanaan tata ruang, transportasi, lingkungan, hingga energi, karena memudahkan pengambil keputusan untuk melihat permasalahan secara spasial [20].

Dalam konteks penelitian ini, SIG berperan sentral sebagai alat untuk analisis spasial penentuan lokasi SPKLU optimal. Beberapa fungsi utama SIG yang relevan dengan penentuan lokasi berbasis kriteria di antaranya:

- a. Visualisasi Data dalam Peta Digital

SIG mampu mengubah data numerik atau deskriptif menjadi peta tematik yang informatif. Misalnya, data kepadatan kendaraan listrik atau lokasi fasilitas umum dapat divisualisasikan sebagai layer pada peta digital. Hal ini memudahkan peneliti mengidentifikasi area-area yang memiliki konsentrasi tertentu (misal kepadatan penduduk tinggi, banyak pusat kegiatan) yang berpotensi menjadi lokasi strategis SPKLU.

- b. Analisis Buffer dan Jarak

SIG menyediakan alat untuk melakukan *buffering*, yaitu membuat zona berjarak tertentu dari suatu titik atau lokasi. Dengan analisis buffer, kita dapat menentukan cakupan layanan SPKLU (radius jangkauan) dan menghindari penempatan

beberapa SPKLU yang terlalu berdekatan. Sebagai contoh, dengan membuat buffer 5 km dari SPKLU yang sudah ada, dapat diketahui area mana yang belum terlayani dalam radius tersebut dan layak dipertimbangkan untuk lokasi SPKLU baru.

c. Overlay dan Interseksi Layer

Salah satu kekuatan SIG adalah kemampuannya melakukan tumpang-susun (*overlay*) berbagai layer peta untuk analisis multi-kriteria. Data spasial seperti peta kepadatan lalu lintas, peta permukiman penduduk, lokasi jaringan listrik, dan tata guna lahan dapat di-*overlay* satu sama lain. Interseksi dari layer-layer ini membantu mengevaluasi titik-titik lokasi yang memenuhi berbagai kriteria sekaligus. Dengan metode *weighted overlay* (pembobotan tiap layer sesuai tingkat kepentingan), SIG dapat menghasilkan peta kesesuaian yang menunjukkan area dengan skor tertinggi sebagai calon lokasi SPKLU optimal.

d. Analisa Jaringan dan Aksesibilitas

SIG juga dapat memperhitungkan jarak tempuh sebenarnya di sepanjang jaringan jalan bukan sekadar jarak lurus. Melalui *network analysis*, SIG menghitung rute terpendek atau tercepat, sehingga bisa menilai aksesibilitas suatu titik. Dalam studi lokasi SPKLU, analisis jaringan bermanfaat untuk memastikan lokasi yang dipilih mudah dijangkau dari jalan utama dan berada di jalur travel yang efisien bagi pengguna.

e. Estimasi Permintaan Berbasis Wilayah

Dengan data spasial, SIG dapat digunakan untuk mengestimasi kebutuhan atau permintaan layanan pada suatu wilayah. Contohnya, dengan memadukan distribusi jumlah kendaraan listrik, jumlah penduduk, dan aktivitas ekonomi per kecamatan, SIG dapat memproyeksikan area mana yang berpotensi memiliki permintaan tinggi terhadap layanan SPKLU. Area berprioritas tinggi tersebut dapat dijadikan acuan dalam menentukan urutan pembangunan SPKLU.

f. Integrasi dengan Metode Pengambilan Keputusan

SIG sering dikombinasikan dengan metode penilaian multi-kriteria, seperti AHP, *Multi-Criteria Evaluation* (MCE) atau *Weighted Sum Model*. Integrasi ini

memungkinkan penghitungan skor komposit pada tiap lokasi dengan mempertimbangkan bobot kriteria yang ditentukan secara analitis. Hasilnya berupa pemetaan lokasi optimal yang didukung oleh analisis kuantitatif, sehingga keputusan penentuan lokasi menjadi lebih objektif dan transparan.

Dengan fitur-fitur di atas, SIG telah berkembang menjadi alat krusial dalam perencanaan dan pengelolaan infrastruktur publik berbasis lokasi. Keunggulan SIG terletak pada kemampuannya memadukan data spasial dan atribut, sehingga menghasilkan keluaran berupa peta analitis yang dapat memberikan insight mendalam bagi pengambil keputusan. Dalam konteks pembangunan SPKLU, penggunaan SIG menjadi sangat relevan. Penempatan SPKLU yang strategis harus mempertimbangkan berbagai faktor spasial seperti penyebaran lalu lintas kendaraan listrik, kepadatan penduduk, kedekatan dengan pusat kegiatan ekonomi, hingga keberadaan jaringan listrik terdekat. SIG menyediakan platform untuk menganalisis semua faktor tersebut secara menyeluruh, sehingga pemilihan lokasi SPKLU dapat didasarkan pada bukti spasial yang kuat dan menyeluruh.

Berbagai studi menunjukkan efektivitas penggunaan SIG dalam perencanaan infrastruktur pengisian kendaraan listrik. Di Shenzhen, Tiongkok, melaporkan bahwa penerapan analisis SIG dalam penentuan lokasi stasiun pengisian EV mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan infrastruktur hingga ~35% dibanding metode konvensional yang hanya mengandalkan estimasi sebaran populasi kendaraan [21]. Hasil serupa dilaporkan oleh penelitian di India yang mengintegrasikan analisis geospasial multi-layer untuk penempatan infrastruktur charging, di mana pendekatan tersebut terbukti dapat meminimalkan kesenjangan akses layanan pengisian daya di kawasan perkotaan yang padat [21]. Selain itu, SIG juga membantu dalam tahap perencanaan teknis kelistrikan. Sebuah laporan internasional mencatat bahwa GIS dapat digunakan untuk memetakan lokasi gardu dan kapasitas jaringan distribusi listrik di suatu kota, sehingga pembangunan SPKLU baru dapat diselaraskan dengan ketersediaan daya dan meminimalkan risiko beban lebih pada jaringan setempat. Di Indonesia, pentingnya analisis spasial dalam pengembangan SPKLU juga tercermin pada kebijakan dan rencana strategis. Kementerian ESDM melalui Permen ESDM

No.13 Tahun 2020 menegaskan bahwa penentuan lokasi SPKLU harus berdasarkan prinsip ketersediaan jaringan listrik, aksesibilitas, dan keamanan lokasi, parameter-parameter yang dapat dievaluasi efektif dengan bantuan SIG. Bahkan, PLN dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021–2030 menyebutkan pemanfaatan SIG sebagai salah satu alat perencanaan strategis untuk memastikan pembangunan SPKLU selaras dengan peta sistem kelistrikan nasional [22].

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa SIG menyediakan kerangka analisis spasial yang komprehensif bagi penelitian ini. Dengan memanfaatkan SIG, peneliti dapat memetakan berbagai data keruangan penting dan melakukan analisis multi-kriteria untuk menentukan lokasi SPKLU yang paling optimal. Agar analisis multi-kriteria tersebut lebih terstruktur, SIG dalam penelitian ini akan dikombinasikan dengan metode AHP untuk pembobotan kriteria. Metode AHP sebagai alat pengambilan keputusan akan dijelaskan pada sub-bab berikutnya.

2.2.4 Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Untuk melengkapi analisis spasial SIG dalam pemilihan lokasi SPKLU, penelitian ini menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) sebagai pendekatan sistematis dalam menentukan bobot kepentingan setiap kriteria lokasi. AHP adalah metode pengambilan keputusan kuantitatif yang diperkenalkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1980 [23]. Metode ini dirancang untuk memecahkan permasalahan keputusan kompleks yang melibatkan banyak kriteria dengan cara memecah masalah menjadi struktur hierarki dan melakukan perbandingan berpasangan di setiap tingkatannya. AHP mampu menggabungkan data kuantitatif maupun kualitatif (berdasarkan penilaian subjektif) secara terukur, sehingga sangat cocok untuk situasi di mana keputusan harus mempertimbangkan berbagai faktor yang tidak homogen. Hasil akhir AHP adalah bobot atau prioritas numerik yang menunjukkan tingkat kepentingan relatif tiap kriteria atau alternatif dalam mencapai tujuan keputusan. Meskipun penelitian ini menggunakan pendekatan AHP dan GIS dalam penentuan lokasi SPKLU, beberapa studi terdahulu telah mengeksplorasi metode alternatif seperti algoritma Artificial Bee Colony (ABC) untuk optimasi lokasi berbasis data

spasial dan operasional kendaraan listrik [24]. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis kecerdasan buatan juga berkembang pesat dan berpotensi menjadi opsi kajian lanjutan.

Dalam konteks penelitian ini, AHP digunakan untuk menentukan bobot setiap kriteria penentuan lokasi SPKLU (misalnya kepadatan kendaraan listrik, jarak ke jaringan listrik, aksesibilitas jalan, dll.) berdasarkan input ahli atau pemangku kepentingan. Dengan demikian, lokasi-lokasi calon dapat dinilai secara lebih objektif sesuai kepentingannya terhadap tujuan optimasi.

Secara garis besar, tahapan AHP adalah sebagai berikut:

a. Menetapkan Hirarki Masalah dan Kriteria

Pertama, didefinisikan dulu tujuan keputusan (misalnya menentukan lokasi SPKLU terbaik). Lalu ditentukan kriteria-kriteria apa saja yang relevan dengan tujuan tersebut, termasuk sub-kriteria jika perlu. Kriteria dapat diperoleh dari studi literatur, regulasi, maupun diskusi dengan pakar. Dalam penelitian ini, kriteria lokasi SPKLU misalnya mencakup ketersediaan jaringan listrik, kepadatan penduduk, aksesibilitas jalan, kedekatan pusat kegiatan, kesesuaian tata ruang dan lain-lain (akan dijabarkan dalam metodologi).

b. Melakukan Perbandingan Berpasangan (*Pairwise Comparison*)

Setiap kriteria kemudian dibandingkan satu lawan satu terhadap kriteria lainnya untuk menilai tingkat kepentingan relatifnya. Penilaian dilakukan dengan membuat skala fundamental yang diperkenalkan oleh Thomas L. Saaty yaitu skala 1 sampai 9, Dimana :

- i. 1 = kedua elemen sama penting,
- ii. 3 = salah satu sedikit lebih penting
- iii. 5 = lebih penting
- iv. 7 = sangat lebih penting
- v. 9 = mutlak lebih penting

Nilai-nilai antara skala ini (2,4,6,8) digunakan sebagai penyesuaian jika diperlukan. Respon penilaian bisa diperoleh dari ahli melalui kuesioner atau wawancara terstruktur. Pada penelitian ini, perbandingan berpasangan kriteria

lokasi SPKLU dilakukan oleh para pakar/pejabat terkait di PLN melalui kuesioner AHP.

c. Menyusun Matriks Perbandingan Berpasangan

Semua hasil perbandingan berpasangan dituangkan ke dalam matriks. Matriks perbandingan berpasangan berukuran $n \times n$ (jika ada n kriteria) di mana entri matriks merepresentasikan hasil penilaian relatif suatu kriteria terhadap kriteria lainnya. Matriks ini bersifat resiprokal (jika kriteria A dinilai 5 kali lebih penting dari B, maka B otomatis $1/5$ kali pentingnya A).

d. Menghitung Bobot Kriteria dan Menguji Konsistensi

Dari matriks perbandingan tersebut, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan bobot tiap kriteria. Metode yang lazim dipakai adalah dengan menghitung *eigenvector* dari matriks, yang kemudian dinormalisasi menjadi bobot prioritas. Selain itu, sangat penting untuk mengukur konsistensi penilaian responden. AHP menyediakan ukuran *Consistency Ratio* (CR) yang membandingkan *Consistency Index* (CI) matriks dengan indeks acak (*Random Index*).

Langkah menghitung CR :

- i. Hitung $\lambda_{\max}$ (Eigen value terbesar dari matriks perbandingan).
- ii. Hitungan Consistency Index (CI) menggunakan rumus :

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

Dimana :

CI = consistency index

$\lambda_{\max}$ = eigen value maksimum

n = jumlah kriteria dalam matriks AHP

- iii. Konsistensi diuji dengan membandingkan CI terhadap Random Index (RI) yang sesuai dengan ukuran matriks, dengan rumus :

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Dimana :

CR = consistency ratio

CI = consistency index

RI = random index

Nilai $CR \leq 0,1$ (atau $\leq 10\%$) umumnya dianggap dapat diterima, artinya penilaian berpasangan konsisten secara logis; sedangkan jika $CR > 0,1$, maka penilaian dianggap terlalu inkonsisten dan perlu dilakukan revisi/penilaian ulang. Pada penelitian ini, setelah kuesioner AHP diolah, nilai CR akan dihitung untuk memastikan konsistensi jawaban pakar.

- e. Menentukan Prioritas Alternatif (Jika Diperlukan)

Apabila AHP juga diterapkan hingga tingkat alternatif (misalnya membandingkan calon lokasi SPKLU satu sama lain pada setiap kriteria), maka langkah selanjutnya adalah menghitung skor setiap alternatif. Caranya, bobot kriteria yang telah diperoleh digunakan untuk mengaggregasi penilaian alternatif pada masing-masing kriteria, menghasilkan *skor total* untuk tiap alternatif. Alternatif dengan skor tertinggi berarti paling sesuai dengan tujuan menurut kriteria-kriteria yang ada. Dalam studi lokasi SPKLU ini, alternatif bisa berupa sejumlah titik kandidat lokasi. Namun, karena umumnya alternatif lokasi sangat banyak (secara spasial kontinyu), pendekatan yang diambil adalah menghasilkan peta zona prioritas lokasi dari kombinasi SIG dan bobot AHP, lalu memilih titik optimal dari zona bernilai tertinggi tersebut.

2.2.5 Kelayakan Investasi

Setelah menentukan lokasi yang optimal secara teknis, aspek kelayakan investasi menjadi pertimbangan penting sebelum merealisasikan pembangunan SPKLU. Landasan teori ini menguraikan konsep kelayakan investasi proyek, komponen-komponen analisisnya, serta indikator finansial utama yang digunakan. Kelayakan investasi proyek adalah proses evaluasi untuk menilai apakah suatu proyek layak dijalankan dari sudut pandang ekonomi dan finansial. Artinya, analisis ini bertujuan mengukur apakah investasi yang direncanakan mampu memberikan hasil yang sepadan atau lebih besar daripada biaya dan risiko yang harus ditanggung. Studi kelayakan umumnya dilakukan sebelum proyek dimulai, dan di Indonesia hal ini diwajibkan oleh regulasi – *Undang-Undang No. 25 Tahun 2007* tentang Penanaman Modal mengamanatkan bahwa setiap rencana investasi perlu didahului studi kelayakan guna menjamin proyek tersebut dapat memberi kontribusi positif bagi perekonomian.

Dalam konteks pembangunan SPKLU di Banda Aceh, analisis kelayakan investasi tidak hanya mempertimbangkan keuntungan finansial semata, tetapi juga memperhitungkan aspek strategis dan kondisi lingkungan bisnis setempat. Beberapa faktor strategis misalnya: dukungan kebijakan pemerintah (subsidi, insentif), potensi permintaan pasar kendaraan listrik di wilayah tersebut (berapa banyak EV yang beroperasi dan proyeksinya), serta keberlanjutan jangka panjang (bagaimana tren teknologi dan regulasi ke depan). Penilaian cermat sangat diperlukan mengingat infrastruktur SPKLU membutuhkan biaya modal besar di awal dan tingkat penggunaan (utilisasi) yang tinggi agar menguntungkan, sedangkan adopsi EV sendiri masih dalam tahap pertumbuhan awal di Banda Aceh. Dengan kata lain, risiko ketidakpastian masih cukup tinggi, sehingga analisis kelayakan membantu menginformasikan keputusan apakah proyek tersebut harus dijalankan, ditunda, atau mungkin memerlukan dukungan tambahan.

Secara umum, analisis kelayakan investasi proyek mencakup perhitungan beberapa komponen utama berikut:

- a. Biaya Modal (*Capital Expenditure/CAPEX*) merupakan total biaya investasi awal yang diperlukan untuk membangun dan mengoperasikan proyek hingga siap berjalan. Untuk proyek SPKLU, CAPEX meliputi: biaya pengadaan peralatan utama seperti unit charger baik tipe AC maupun DC, panel distribusi, sistem proteksi kelistrikan, biaya pembangunan fisik dan instalasi seperti pemasangan alat, konstruksi shelter/kanopi bila ada, biaya pengadaan lahan atau sewa lahan jika lokasi tidak menggunakan lahan milik sendiri/PLN, serta biaya integrasi sistem misal sistem pembayaran digital, jaringan komunikasi. CAPEX yang besar berarti kebutuhan pendanaan awal tinggi, sehingga investor harus memastikan modal ini dapat tertutupi oleh keuntungan operasional di masa mendatang.
- b. Pendapatan (*Revenue Streams*) adalah arus kas masuk yang dihasilkan dari operasi proyek setelah SPKLU beroperasi. Sumber pendapatan utama SPKLU berasal dari tarif pengisian daya per kWh yang dibayarkan pengguna EV saat mengisi baterai. Besarnya pendapatan tergantung pada volume transaksi yaitu jumlah kWh terjual dan jumlah pengguna, serta struktur tarif harga per kWh yang ditetapkan, yang bisa dipengaruhi kebijakan tarif oleh regulator. Selain itu, SPKLU juga dapat memiliki pendapatan *beyond kWh*, contohnya: biaya parkir atau jasa valet/premium di area SPKLU, layanan penukaran/penyewaan baterai jika disediakan *battery swapping* di lokasi, bekerja sama dengan SPBKLU, pemasukan iklan atau sponsor misal layar iklan di stasiun pengisian, dan pendapatan dari kerja sama kemitraan dengan pihak lain misalnya mall atau rest area berbagi keuntungan karena kehadiran SPKLU menarik pengunjung. Menurut analisis lembaga internasional, keberhasilan finansial SPKLU pada tahap awal sangat bergantung pada diversifikasi pendapatan tersebut untuk menutupi biaya operasional yang cukup tinggi ketika utilisasi masih rendah. Oleh sebab itu, dalam studi kelayakan, asumsi mengenai berbagai sumber pendapatan ini perlu dibuat realistis dan mencakup skenario optimis maupun pesimis.
- c. Manfaat Ekonomi (*Externalities Positif*) selain manfaat finansial langsung, investasi SPKLU juga membawa manfaat ekonomi dan lingkungan yang bersifat tidak langsung. Misalnya, adanya SPKLU akan mendorong efisiensi energi dan

mengurangi ketergantungan pada BBM fosil, sehingga impor BBM bisa berkurang dalam jangka panjang. Penggunaan EV yang difasilitasi SPKLU juga menurunkan emisi gas rumah kaca dan polusi udara, memberikan dampak positif bagi kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Fitrianto menekankan bahwa penerapan kendaraan listrik secara luas mampu menurunkan emisi gas rumah kaca secara signifikan, terutama di wilayah urban seperti Sumatera Utara yang memiliki kepadatan lalu lintas tinggi [25]. Dari sisi ekonomi lokal, pembangunan SPKLU jika melibatkan komponen lokal dapat membuka lapangan kerja baru serta merangsang perkembangan sektor terkait jasa perawatan, manufaktur peralatan dan sebagainya. Di tingkat makro, infrastruktur kendaraan listrik berkontribusi pada pencapaian target pemerintah dalam transisi energi dan penurunan emisi (*net-zero emission*). Meskipun manfaat-manfaat ini sulit dikuantifikasi ke dalam arus kas proyek, tetap dapat disebut sebagai justifikasi tambahan mengapa proyek perlu didukung, misalnya untuk pengajuan subsidi atau insentif.

Dalam analisis kelayakan, setelah mengestimasi komponen biaya dan pendapatan di atas dalam horizon waktu proyek tertentu misal 10-15 tahun atau sesuai umur ekonomi peralatan, langkah berikutnya adalah menghitung indikator kelayakan finansial. Tiga indikator keuangan utama yang umum digunakan dalam studi kelayakan investasi adalah *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* (PP). Ketiga indikator ini membantu investor menilai proyek dari berbagai sudut : total keuntungan bersih yang dihasilkan, tingkat pengembalian relatif terhadap modal, dan kecepatan kembalinya modal. Berikut penjelasan singkat masing-masing indikator:

a. *Net Present Value* (NPV)

merupakan metode untuk menghitung nilai sekarang dari arus kas mendatang yang diharapkan dari suatu proyek investasi kemudian dikurangi dengan nilai modal investasi awal (CAPEX). NPV memperhitungkan nilai waktu dari uang (time value of money) yaitu prinsip bahwa uang sekarang lebih berharga dibandingkan uang yang diterima di masa depan karena dapat diinvestasikan kembali.

Rumus NPV adalah :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0$$

Dimana :

CF_t = arus kas bersih pada tahun ke-t

r = tingkat diskonto (discount rate)

n = umur proyek

t = tahun ke-t

C_0 = investasi awal

Jika $NPV > 0$, maka proyek dianggap layak karena menghasilkan nilai tambah ekonomi.

Jika $NPV < 0$, proyek dinilai tidak layak secara finansial karena nilai sekarang dari pemasukan lebih kecil daripada biaya.

b. *Internal Rate of Return (IRR)*

IRR adalah tingkat diskonto yang membuat nilai sekarang bersih (*Net Present Value* / NPV) dari seluruh arus kas masuk dan keluar proyek sama dengan nol. Dengan kata lain, IRR adalah tingkat pengembalian investasi yang dihasilkan oleh proyek atau aset berdasarkan proyeksi arus kas yang dihasilkan selama umur proyek tersebut.

Secara matematis, IRR didefinisikan melalui persamaan:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - C_0$$

Dimana :

CF_t = arus kas bersih pada tahun ke-t

IRR = Internal Rate of Return

n = umur proyek

t = tahun ke-t

C_0 = investasi awal

Suatu proyek dikatakan layak secara finansial apabila nilai IRR melebihi tingkat pengembalian minimum yang disyaratkan oleh investor atau disebut juga *Required Rate of Return* (RRR).

Jika $IRR > RRR$ maka proyek dianggap layak, karena tingkat pengembalian proyek melampaui harapan minimum investor, artinya proyek memberikan nilai tambah.

Jika $IRR < RRR$ maka proyek tidak layak, karena proyek gagal memenuhi ekspektasi minimum pengembalian modal.

c. *Payback Period* (PP)

Payback Period adalah periode waktu yang dibutuhkan oleh sebuah proyek untuk mengembalikan total investasi awalnya melalui arus kas bersih (*net cash flow*) yang dihasilkan setiap tahun. Dengan kata lain, PP mengukur berapa lama waktu yang diperlukan agar suatu investasi balik modal.

Secara matematis, PP didefinisikan melalui persamaan:

$$PP = T + \frac{C_{\text{sis}}}{CF_{t+1}}$$

Dimana :

T = tahun terakhir sebelum investasi kembali

C_{sis} = sisa investasi yang belum kembali pada akhir bulan ke- T

CF_{t+1} = arus kas bersih pada tahun setelah T

Metode ini tidak mempertimbangkan nilai waktu uang (time value of money) dan juga tidak mencerminkan profitabilitas jangka panjang suatu proyek. Namun demikian, Payback Period tetap relevan digunakan sebagai indikator awal kelayakan, khususnya dalam proyek-proyek dengan tingkat risiko tinggi, ketidakpastian pasar, atau horizon investasi jangka pendek. Dalam konteks SPKLU, Payback Period memberikan gambaran tentang kecepatan pengembalian modal, yang menjadi perhatian utama bagi investor, terutama dalam tahap awal adopsi kendaraan listrik di Indonesia.

Dalam studi ini, ketiga indikator kelayakan investasi, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period (PP) akan dihitung berdasarkan skenario pembangunan SPKLU di Kota Banda Aceh. Nilai NPV digunakan untuk menilai kelayakan proyek secara absolut dengan memperhitungkan seluruh arus kas selama umur proyek. Sementara itu, IRR akan dibandingkan dengan tingkat pengembalian minimum yang disyaratkan (seperti suku bunga pinjaman atau biaya modal investor) untuk mengevaluasi efisiensi pengembalian modal. Adapun Payback Period dianalisis guna mengetahui seberapa cepat investasi dapat kembali, yang penting terutama dalam proyek dengan risiko atau ketidakpastian tinggi.

Kombinasi ketiga analisis tersebut memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai prospek finansial proyek. Apabila ketiganya menunjukkan hasil yang positif dimana NPV bernilai positif, IRR lebih tinggi dari biaya modal, dan PP dalam rentang waktu yang wajar, maka proyek dapat direkomendasikan untuk dijalankan. Sebaliknya, apabila hasilnya tidak memenuhi kriteria kelayakan, maka perlu dipertimbangkan upaya mitigasi, seperti penyediaan subsidi, penyesuaian skema tarif, atau perubahan model bisnis.

Namun demikian, aspek finansial bukan satu-satunya faktor penentu keberhasilan proyek. Keberhasilan implementasi SPKLU juga sangat dipengaruhi oleh model bisnis dan skema pendanaan yang diterapkan. Oleh karena itu, pada sub-bab selanjutnya akan dibahas secara mendalam mengenai model bisnis SPKLU, termasuk alternatif skema investasi seperti pembiayaan oleh pemerintah, swasta, maupun melalui skema kerja sama *Public Private Partnership* (PPP). Pemahaman menyeluruh terhadap model bisnis akan melengkapi analisis kelayakan finansial dengan dimensi keberlanjutan operasional jangka panjang.

2.2.6 Evaluasi Utilitas dalam Skenario Investasi Infrastruktur

Dalam konteks perencanaan dan evaluasi infrastruktur, utilitas secara umum merujuk pada tingkat pemanfaatan atau kapasitas terpakai dari suatu aset fisik dalam suatu periode waktu tertentu. Utilitas ini dapat diukur dalam bentuk

presentase kapasitas yang digunakan, jam operasional efektif, atau jumlah pengguna aktual dibandingkan dengan kapasitas maksimum [26].

Contoh pada infrastruktur jalan tol, tingkat utilitas bisa dihitung dari volume kendaraan harian aktual dibandingkan kapasitas rancangannya. Sementara pada infrastruktur energi (misalnya pembangkit listrik), utilitas diukur dari *capacity factor* jumlah energi listrik yang dihasilkan dibagi potensi produksi maksimalnya [27].

Konsep utilitas penting karena menjadi penentu efisiensi ekonomi dan kelayakan finansial. Infrastruktur dengan utilitas rendah umumnya menghadapi risiko keuangan lebih tinggi karena pendapatan aktual tidak mampu menutup biaya tetap dan investasi awal. Oleh karena itu, dalam evaluasi kelayakan, proyeksi utilisasi menjadi variabel krusial yang sangat memengaruhi hasil *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* (PP).

Pada infrastruktur Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU), utilitas merujuk pada tingkat penggunaan unit charger dalam sehari atau dalam periode tertentu, dibandingkan kapasitas operasional maksimumnya. Misalnya, sebuah SPKLU dengan 1 charger 50 kW yang beroperasi 12 jam per hari dapat dikatakan memiliki utilisasi 25% apabila digunakan selama rata-rata 3 jam per hari.

Dalam jurnal *Sustainability* menunjukkan bahwa skenario utilitas memiliki dampak langsung terhadap proyeksi kelayakan finansial SPKLU. Dalam studi mereka yang menggunakan dua model SPKLU di Amerika Serikat, ditemukan bahwa pada utilisasi rendah (15%), SPKLU menghasilkan pendapatan yang belum mampu menutup seluruh komponen OPEX dan depresiasi aset. Namun, ketika utilisasi meningkat ke 25% atau lebih, SPKLU mulai menunjukkan NPV positif dan IRR yang kompetitif—bahkan tanpa dukungan subsidi pemerintah. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan 5–10% pada tingkat utilitas dapat berdampak besar terhadap kinerja keuangan proyek [28].

Dari sisi biaya, komponen OPEX terdiri dari biaya listrik per kWh, biaya tetap (seperti sewa, perawatan, sistem kontrol), dan dalam beberapa kasus termasuk biaya demand charge. Pada utilisasi rendah, biaya tetap ini tersebar pada volume

energi yang kecil, menyebabkan biaya per kWh sangat tinggi. Sebaliknya, utilisasi tinggi memungkinkan efisiensi biaya karena beban tetap terbagi pada transaksi yang lebih banyak.

Dengan demikian, penggunaan skenario utilitas konservatif, moderat, dan optimistis dalam simulasi investasi SPKLU memberikan fleksibilitas dalam menganalisis sensitivitas kelayakan. Hal ini sangat relevan di Indonesia, mengingat adopsi kendaraan listrik masih pada tahap awal dan distribusi permintaan pengguna belum merata. Penelitian ini mengadopsi pendekatan serupa untuk menyusun analisis kelayakan investasi SPKLU di Banda Aceh dengan asumsi skenario utilisasi 15%, 20%, dan 25%.

2.2.7 Model Bisnis SPKLU

Secara umum, kerangka model bisnis dapat dijelaskan melalui tiga komponen utama yang saling berkaitan : *value proposition* (proposisi nilai), *customer segment* (segmen pelanggan) dan *revenue stream* (sumber pendapatan). Ketiga elemen ini menjadi pondasi dalam merancang strategi bisnis SPKLU yang kompetitif dan efisien. Pemilihan model bisnis yang tepat merupakan elemen kunci untuk memastikan pembangunan dan operasional SPKLU dapat berjalan berkelanjutan. Model bisnis menjelaskan kerangka bagaimana sebuah organisasi atau proyek menciptakan nilai, menyampaikan nilai tersebut kepada pelanggan, serta menangkap nilai (keuntungan) sebagai imbalannya. Dalam konteks SPKLU, model bisnis mencakup strategi pengelolaan stasiun pengisian, siapa yang menjadi pengguna sasaran, bagaimana alur pendapatan diperoleh, dan bagaimana pembagian peran antara pemangku kepentingan pemerintah, PLN, swasta. Pemahaman mengenai model bisnis ini penting agar rekomendasi yang dihasilkan penelitian tidak hanya layak secara teknis dan finansial, tetapi juga atraktif bagi investor dan berdaya guna bagi pengguna.

Secara umum, sebuah model bisnis dapat diuraikan menjadi tiga komponen utama yang saling terkait: proposisi nilai, segmen pelanggan, dan sumber pendapatan.

Ketiga komponen ini menjadi pondasi dalam merancang strategi bisnis SPKLU yang kompetitif dan efisien:

a. *Value Proposition* (Proposisi Nilai)

Proposisi nilai menjelaskan manfaat utama yang ditawarkan SPKLU kepada pengguna kendaraan listrik ataupun mitra. Dalam kasus SPKLU, proposisi nilai yang ditawarkan tidak sebatas menyediakan energi listrik untuk mengisi baterai, tetapi juga aspek kenyamanan dan kemudahan akses dalam pengisian. Misalnya, lokasi SPKLU yang strategis akan mempermudah pengguna mengisi daya tanpa harus keluar jauh dari rute perjalanan utamanya. Demikian pula, ketersediaan fasilitas *fast charging* menjadi nilai lebih karena memungkinkan pengisian baterai dalam waktu singkat. Proposisi nilai SPKLU juga terkait dengan citra ramah lingkungan, pengguna yang mengisi daya di SPKLU turut berkontribusi pada pengurangan emisi karbon. Selain itu, beberapa SPKLU mungkin menawarkan layanan tambahan seperti area parkir khusus, ruang tunggu yang nyaman, toko ritel atau kafe kecil, hingga konektivitas Wi-Fi, yang semuanya meningkatkan daya tarik SPKLU bagi pelanggan.

b. *Customer Segment* (Segmen Pelanggan)

SPKLU melayani berbagai segmen pengguna kendaraan listrik, dan masing-masing segmen mungkin memiliki kebutuhan dan preferensi yang berbeda. Memahami segmen pelanggan penting agar operator SPKLU dapat merancang layanan dan strategi pemasaran yang tepat sasaran. Segmen pelanggan utama SPKLU antara lain:

- i. Pemilik kendaraan listrik pribadi, misalnya pemilik mobil listrik atau motor listrik perorangan yang membutuhkan pengisian saat baterai lemah, terutama dalam perjalanan jarak jauh atau ketika tidak dapat mengisi di rumah. Segmen ini mengutamakan SPKLU yang mudah diakses dan tarif terjangkau.
- ii. Pengemudi armada transportasi, misalnya taksi listrik, kendaraan *ride-hailing* seperti Grab/Gojek, atau armada *delivery* yang cenderung membutuhkan SPKLU dengan waktu pengisian singkat (*fast charging*)

dan lokasi yang tersebar di area urban strategis untuk menunjang operasional harian mereka.

- iii. Instansi pemerintah atau publik yang mulai beralih ke kendaraan dinas listrik, segmen ini mungkin membutuhkan SPKLU di fasilitas kantor pemerintahan atau tempat umum, dengan pola penggunaan terjadwal.
 - iv. Pihak swasta atau pemilik lahan komersial dalam menyediakan lokasi SPKLU di mal, rest area, hotel ataupun restoran yang berperan sebagai tuan rumah SPKLU. Keberadaan SPKLU bisa menjadi nilai tambah bagi pelanggan bisnis mereka. Segmen ini lebih berfokus pada skema kemitraan dan pembagian keuntungan dengan mengenali karakteristik tiap segmen, model bisnis SPKLU dapat disusun untuk memenuhi kebutuhan masing-masing secara efektif.
- c. *Revenue Streams* (Sumber Pendapatan) merupakan aspek vital dalam model bisnis SPKLU karena terkait langsung dengan kelangsungan finansial investasi. Pendapatan utama tentu berasal dari penjualan energi listrik (per kWh) kepada pengguna yang mengisi daya. Namun, seperti telah disinggung sebelumnya, ada pula potensi pendapatan tambahan. Beberapa *revenue stream* dalam operasional SPKLU antara lain:
- i. Tarif pengisian per kWh merupakan pendapatan inti, besarnya tergantung tarif yang ditetapkan bisa berbeda tergantung jenis pengisian lambat/cepat dan kebijakan insentif tarif.
 - ii. Layanan tambahan (*beyond kWh*) yang berasal dari parkir berbayar di lokasi SPKLU, penyewaan baterai atau sistem pertukaran baterai (SPBKLU), iklan digital atau *branding* di area SPKLU.
 - iii. Pendapatan dari kemitraan yaitu skema bagi hasil atau sewa lokasi dengan mitra bisnis. Contohnya, pengelola SPKLU bekerja sama dengan pengelola rest area tol atau SPBU sehingga SPKLU mendapatkan tempat strategis, dan pendapatan dibagi sesuai kesepakatan atau produsen mobil listrik mensponsori SPKLU dan sebagai imbal balik, SPKLU memprioritaskan kompatibilitas atau promosi merek tertentu. Dalam

model bisnis, diversifikasi sumber pendapatan ini penting untuk meningkatkan resiliensi finansial SPKLU, terutama di tahap awal operasi. Selain tiga komponen di atas, dalam penerapan model bisnis SPKLU perlu dipertimbangkan struktur biaya seperti biaya operasi, pemeliharaan, biaya energi listrik, biaya sewa lahan, dll. Sumber daya kunci misalnya akses ke pasokan listrik andal, platform IT untuk pembayaran, SDM terlatih. Namun, fokus utama penelitian ini terkait model bisnis adalah pada skema investasi atau pembiayaan SPKLU yang paling efektif untuk diterapkan di Banda Aceh. Secara umum, terdapat tiga skema pendanaan utama yang lazim digunakan dalam pembangunan infrastruktur SPKLU:

a. Investasi oleh Pemerintah

Pada skema ini, pembangunan SPKLU sepenuhnya didanai oleh pihak pemerintah. Pendanaan dapat berasal dari APBN/APBD ataupun melalui penugasan pada BUMN seperti PLN. Pemerintah pusat dan daerah mungkin mengalokasikan anggaran khusus untuk membangun SPKLU terutama di wilayah-wilayah yang secara komersial kurang menarik bagi swasta misalnya daerah 3T (tertinggal, terluar, terdepan) atau lokasi strategis nasional yang wajib ada SPKLU seperti kawasan wisata prioritas, rest area tol lintas provinsi. Kelebihan model ini adalah pemerintah memiliki kendali penuh terhadap pengembangan SPKLU mulai dari standar teknis, penetapan tarif yang dibuat murah untuk mendorong pemakaian, hingga lokasi layanan yang merata demi asas pemerataan. SPKLU pemerintah juga bisa difokuskan ke pelayanan publik dan kepentingan strategis tanpa tekanan profit jangka pendek. Namun tantangannya, anggaran pemerintah terbatas dan harus berbagi dengan program prioritas lain. Proses birokrasi pengadaan bisa panjang, sehingga kecepatan pembangunan mungkin tidak secepat kebutuhan lapangan. Selain itu, jika seluruh biaya ditanggung pemerintah, beban finansial negara cukup besar mengingat target jumlah SPKLU nasional yang puluhan ribu unit.

b. Investasi oleh Swasta

Skema kedua adalah swasta murni artinya pendanaan, pembangunan, dan operasi SPKLU dilakukan oleh perusahaan atau konsorsium swasta tanpa penyertaan modal pemerintah. Pihak swasta di sini bisa berupa perusahaan operator SPKLU independen, perusahaan otomotif yang ingin menyediakan layanan charging bagi pelanggannya, *investor startup* di bidang energi bersih, ataupun pemilik/pengelola properti komersial seperti mal, hotel, parkir yang berinisiatif memasang SPKLU untuk menarik segmen pelanggan EV. Kelebihan investasi swasta adalah pelaksanaannya biasanya lebih cepat dan inovatif. Swasta cenderung memilih teknologi terkini yang efisien, model layanan kreatif misal integrasi pembayaran via aplikasi, program membership pelanggan EV dan selektif menempatkan SPKLU di lokasi dengan potensi profit tinggi misal pusat kota, area mall, kampus, bandara. Hal ini baik untuk mempercepat adopsi di area demand tinggi. Selain itu, model bisnis swasta mendorong persaingan sehat sehingga layanan cenderung meningkat kualitasnya.

c. Kerja Sama Pemerintah dan Swasta

Model ketiga adalah kolaborasi antara pemerintah dan swasta, sering disebut skema *Public Private Partnership* (PPP). Skema PPP banyak diadopsi dalam pembangunan infrastruktur publik yang membutuhkan dana besar, termasuk SPKLU di berbagai negara. Dalam PPP, pemerintah dan swasta berbagi peran, risiko, dan keuntungan sesuai porsi yang disepakati. Bentuk kerja sama dapat bervariasi, misalnya *Build Operate Transfer* (BOT), swasta membangun dan mengoperasikan SPKLU untuk jangka waktu tertentu lalu asetnya diserahkan ke pemerintah. *Build Own Operate* (BOO), swasta membangun, memiliki, dan mengoperasikan dengan regulasi pemerintah atau model bagi hasil pendapatan (*revenue sharing*) jangka panjang. Di Indonesia, contoh implementasi PPP di sektor SPKLU adalah kolaborasi PLN dengan mitra swasta di sejumlah lokasi. PLN menyediakan dukungan pasokan listrik dan standarisasi, sedangkan mitra menyediakan investasi peralatan dan lahan di SPBU, rest area, atau parkir

umum. Pendekatan PPP dianggap mampu mempercepat pembangunan SPKLU tanpa sepenuhnya bergantung pada APBN, karena menarik pendanaan swasta, sekaligus tetap memastikan peran pemerintah dalam menjamin pemerataan dan kepentingan umum. Namun, PPP memerlukan kerangka kontrak yang jelas agar pembagian risiko misal risiko utilisasi rendah, risiko perubahan tarif listrik adil bagi kedua pihak. Secara keseluruhan, PPP menawarkan *win-win* solusi apabila dirancang dengan baik, swasta mendapat peluang bisnis, pemerintah mencapai target infrastruktur dengan beban anggaran lebih ringan.

Dalam penelitian ini, ketiga model pendanaan di atas akan dianalisis kelayakan dan efektivitasnya untuk diterapkan di Banda Aceh. Setiap model memiliki implikasi berbeda: investasi pemerintah mungkin perlu subsidi besar namun dapat mengejar pemerataan, investasi swasta menuntut prospek keuntungan tinggi di Banda Aceh, sedangkan PPP memerlukan sinergi yang tepat antara keuntungan bisnis dan pelayanan publik.