

KELAYAKAN INVESTASI SPKLU ULTRA FAST CHARGING BAKAUHENI-TERBANGGI

Eri Prabowo¹, Trassanda Scudetto Widestomo Putra², Shafia Ananda³

¹²³Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia

eri.prabowo@itpln.ac.id, TRASSANDA2410505@itpln.ac.id, shafia2241002@itpln.ac.id

ABSTRACT

This study evaluates the financial feasibility and risk sensitivity of developing two 100 kW public electric vehicle charging stations (SPKLU) on the Bakauheni-Terbanggi Besar toll corridor. The project is relevant because Indonesia's electric vehicle transition requires reliable charging infrastructure along intercity corridors, while ultra-fast charging facilities in Sumatra remain limited. A descriptive quantitative approach was applied using secondary data from traffic reports, PLN tariff references, BPS data, and electric vehicle projections. The analysis used Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period, and sensitivity scenarios based on charger occupancy and electricity tariffs. The initial investment was estimated at IDR 2.167 billion. The pessimistic scenario with 12 vehicles/day produced an IRR of 6.33% and payback period of 6.73 years, indicating weak attractiveness. The moderate and optimistic scenarios generated IRR values of 16.14% and 34.81%, respectively. The results indicate that the project is feasible under moderate and optimistic conditions, but requires phased development, operational risk mitigation, and tariff-risk management.

Keywords: SPKLU; financial feasibility; ultra fast charging; sensitivity analysis; electric vehicles

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi kelayakan finansial dan sensitivitas risiko pembangunan dua unit Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) ultra fast charging berkapasitas 100 kW pada koridor Tol Bakauheni-Terbanggi Besar. Kajian ini penting karena transisi kendaraan listrik di Indonesia membutuhkan infrastruktur pengisian daya yang andal pada koridor perjalanan antarkota, sementara fasilitas ultra fast charging di Sumatera masih terbatas. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif berbasis data sekunder dari laporan lalu lintas, referensi tarif PLN, data BPS, dan proyeksi kendaraan listrik. Analisis dilakukan dengan Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period, serta skenario sensitivitas berdasarkan okupansi charger dan tarif listrik. Investasi awal diperkirakan sebesar Rp2,167 miliar. Skenario pesimis dengan 12 kendaraan per hari menghasilkan IRR 6,33% dan Payback Period 6,73 tahun sehingga belum menarik secara finansial. Skenario moderat dan optimis menghasilkan IRR masing-masing 16,14% dan 34,81%. Hasil penelitian menunjukkan proyek layak pada kondisi moderat dan optimis, tetapi memerlukan pengembangan bertahap, mitigasi risiko operasional, dan pengelolaan risiko tarif.

Kata kunci: SPKLU; kelayakan finansial; ultra fast charging; analisis sensitivitas; kendaraan listrik

1. PENDAHULUAN

Peralihan menuju energi bersih semakin mendesak karena sektor transportasi masih menjadi salah satu penyumbang emisi penting di Indonesia. *Asian Transport Outlook* melaporkan bahwa sektor transportasi memiliki kontribusi besar terhadap emisi nasional sehingga elektrifikasi kendaraan menjadi agenda yang relevan untuk menekan emisi sekaligus memperbaiki efisiensi penggunaan energi [1]. Pemerintah Indonesia juga mendorong peningkatan jumlah kendaraan listrik secara agresif hingga tahun 2030. Target tersebut menuntut kesiapan infrastruktur pengisian daya yang tidak hanya tersedia di kawasan perkotaan, tetapi juga pada koridor perjalanan jarak

jauh [2]. Dalam konteks ini, Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) menjadi bagian penting dari ekosistem kendaraan listrik karena memengaruhi rasa aman pengguna, pola perjalanan, serta kelayakan investasi pada sektor infrastruktur energi [3].

Tol Bakauheni-Terbanggi Besar merupakan koridor strategis karena menjadi bagian dari Jalan Tol Trans Sumatera yang berfungsi sebagai jalur utama penghubung mobilitas antara Pulau Jawa dan Sumatera melalui Pelabuhan Bakauheni. Posisi tersebut menjadikan ruas tol ini penting bagi perjalanan antarkota dan antarpulau, termasuk perjalanan kendaraan listrik yang membutuhkan

kepastian titik pengisian daya [4], [5]. Pembangunan SPKLU pada koridor tersebut dapat memperkuat ekosistem kendaraan Listrik serta mengurangi *range anxiety* yaitu kekhawatiran pengguna terhadap keterbatasan jarak tempuh serta ketersediaan fasilitas pengisian [6], [8]. Kebutuhan ini semakin relevan karena penyediaan SPKLU di jalan tol merupakan bagian dari dukungan terhadap kebijakan percepatan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai [7].

Ruas Tol Bakauheni-Terbanggi Besar memiliki panjang sekitar 140 km sehingga membutuhkan ketersediaan SPKLU yang memadai. Berdasarkan pendekatan jarak rata-rata antar-SPKLU sekitar 23 km pada koridor Trans Sumatera ruas ini diperkirakan memerlukan sedikitnya tujuh titik pengisian [9]. Akan tetapi, pembangunan seluruh titik secara langsung berpotensi meningkatkan risiko investasi terutama karena tingkat adopsi kendaraan listrik di wilayah Sumatera masih berada pada tahap pertumbuhan. Oleh sebab itu, penelitian ini menilai pembangunan dua unit SPKLU *ultra fast charging* sebagai tahap awal yang lebih terkendali. Pemilihan teknologi *ultra fast charging* dipandang sesuai dengan karakteristik jalan tol karena pengguna membutuhkan waktu pengisian yang singkat, kapasitas layanan yang andal, dan waktu berhenti yang tidak terlalu lama [13].

Keputusan investasi pada infrastruktur SPKLU perlu dinilai melalui indikator finansial yang mampu menunjukkan nilai tambah proyek, tingkat pengembalian, dan periode pengembalian modal. Metode *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* umum digunakan dalam evaluasi investasi karena dapat menggambarkan profitabilitas dan risiko arus kas secara lebih terukur [10]-[12]. Selain itu, analisis sensitivitas diperlukan untuk mengetahui perubahan kelayakan ketika variabel kunci seperti okupansi charger dan tarif listrik mengalami perubahan. Berdasarkan latar tersebut, artikel ini bertujuan mengevaluasi kelayakan investasi dan risiko pembangunan dua unit SPKLU *ultra fast charging* pada koridor Tol Bakauheni-Terbanggi Besar.

Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya membahas ekonomi *fast charging*, model bisnis, penentuan lokasi, atau integrasi jaringan secara umum [8], [9], [14]-[19], kebaruan penelitian ini terletak pada lokus Tol Bakauheni-Terbanggi Besar sebagai gerbang perjalanan antarpulau Jawa-Sumatera serta fokus khusus pada investasi SPKLU *ultra fast charging* 100 kW. Penelitian ini mengintegrasikan estimasi arus lalu lintas, penetrasi kendaraan listrik, probabilitas pengisian, indikator kelayakan finansial, dan strategi pengembangan bertahap. Kontribusi yang ditawarkan bukan berupa

formula kelayakan baru, melainkan kerangka keputusan investasi yang kontekstual untuk koridor Trans Sumatera dengan tingkat adopsi kendaraan listrik yang masih berkembang dan kebutuhan pengisian berdaya tinggi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif berbasis data sekunder. Data yang digunakan meliputi biaya investasi paket SPKLU, tarif listrik, biaya layanan, upah tenaga kerja, volume lalu lintas harian, proyeksi kendaraan listrik, inflasi, dan tingkat diskonto. Sumber data diperoleh dari publikasi BPS, PLN, Kementerian ESDM, RUPTL, laporan lalu lintas, dan literatur penelitian terkait SPKLU. Pendekatan kuantitatif digunakan karena tujuan utama penelitian adalah mengukur kelayakan finansial proyek melalui perhitungan matematis dan proyeksi arus kas selama periode analisis. Dengan cara ini, keputusan investasi dapat dievaluasi melalui ukuran finansial yang konsisten dan dapat dibandingkan antarskenario.

Parameter utama penelitian disusun berdasarkan asumsi teknis dan finansial yang. Dua unit SPKLU *ultra fast charging* 100 kW diasumsikan dibangun dengan investasi awal Rp2.167.000.000. Tarif dasar pelanggan menggunakan acuan Rp2.466/kWh, sedangkan harga pokok listrik yang dibayarkan kepada PLN sebesar Rp1.600/kWh. Energi efektif per kendaraan dihitung sebesar 56 kWh berdasarkan kapasitas baterai 70 kWh dan asumsi pengisian 80%. Inflasi tahunan diasumsikan 2,5%, sementara tingkat diskonto yang digunakan dalam perhitungan NPV sebesar 10%. Parameter tersebut menjadi dasar penyusunan arus kas dan analisis sensitivitas pada tiga skenario kelayakan.

Tabel 1. Parameter utama analisis investasi SPKLU

Parameter	Nilai
Jumlah unit SPKLU	2 unit
Tipe pengisian	Ultra fast charging outdoor
Daya pengisian	100 kW
Investasi awal	Rp2.167.000.000
Harga pokok listrik	Rp1.600/kWh
Tarif dasar pelanggan	Rp2.466/kWh
Biaya layanan	Rp57.000/sesi
Energi efektif/kendaraan	56 kWh
Inflasi tahunan	2,5%
Discount rate	10%

Sumber: diolah dari data penelitian

Kelayakan finansial dihitung menggunakan NPV, IRR, dan *Payback Period*. NPV digunakan untuk menilai selisih antara nilai sekarang arus kas masuk dan investasi awal. Apabila nilai NPV positif, proyek menghasilkan nilai ekonomi bersih setelah

mempertimbangkan tingkat diskonto yang ditetapkan. Rumus NPV ditunjukkan pada Pers. (1).

$$NPV = \sum [CF_t / (1 + r)^t] - I_0 \quad (1)$$

IRR merupakan tingkat diskonto yang membuat nilai NPV sama dengan nol. Indikator ini digunakan untuk mengetahui kemampuan proyek menghasilkan tingkat pengembalian internal. Proyek dinilai semakin menarik apabila IRR lebih besar daripada tingkat pengembalian minimum yang disyaratkan. Rumus IRR ditunjukkan pada Pers. (2).

$$0 = \sum [CF_t / (1 + IRR)^t] - I_0 \quad (2)$$

Payback Period digunakan untuk melihat waktu yang dibutuhkan agar investasi awal kembali melalui arus kas bersih kumulatif. Indikator ini penting karena investor tidak hanya mempertimbangkan besarnya keuntungan, tetapi juga kecepatan modal kembali. Rumus *Payback Period* ditunjukkan pada Pers. (3).

$$PP = n + [(a - b) / (c - b)] \times 1 \text{ tahun} \quad (3)$$

Permintaan pengisian dihitung menggunakan pendekatan *Traffic-to-Demand Conversion*. Pendekatan ini mengonversi volume lalu lintas menjadi potensi penggunaan SPKLU dengan mempertimbangkan tingkat penetrasi kendaraan listrik dan probabilitas kendaraan melakukan pengisian daya [14], [15]. Formula estimasi okupansi ditunjukkan pada Pers. (4).

$$\text{Occupancy} = (\text{Traffic volume} \times \text{EV rate} \times \text{Charging probability}) / \text{Number of stations} \quad (4)$$

Dasar penentuan asumsi utama disusun secara bertahap agar model dapat direplikasi. Volume lalu lintas normal diperoleh dari normalisasi tiga laporan pergerakan kendaraan pada Desember 2024, Januari 2025, dan Maret 2025. Estimasi lalu lintas normal harian masing-masing periode adalah 24.453, 35.603, dan 29.995 kendaraan per hari. Nilai rata-ratanya sebesar 30.017 kendaraan per hari yang dibulatkan menjadi 30.000 kendaraan per hari sebagai volume dasar. Tingkat penetrasi kendaraan listrik tahun 2025 dihitung dari perbandingan 98.764 kendaraan listrik terhadap 20.732.922 kendaraan penumpang, sehingga diperoleh EV rate 0,476% atau dibulatkan menjadi 0,48%.

$$\text{EV rate} = (98.764 / 20.732.922) \times 100\% = 0,48\% \quad (5)$$

Probabilitas pengisian ditetapkan sebagai parameter skenario, bukan sebagai nilai observasi tunggal. Skenario moderat menggunakan probabilitas 11% sebagai nilai dasar, sedangkan skenario pesimis dan optimis menggunakan deviasi tiga poin

persentase menjadi 8% dan 14%. Dengan demikian, okupansi total dua unit dihitung dari volume lalu lintas dikalikan *EV rate* dan probabilitas pengisian. Pembagian dengan dua hanya dilakukan ketika hasil dinyatakan sebagai okupansi per unit; angka 12, 16, dan 20 kendaraan per hari pada penelitian ini merupakan okupansi total proyek untuk dua unit SPKLU.

$$\text{Occupancy total} = \text{Traffic volume} \times \text{EV rate} \times \text{Charging probability} \quad (6)$$

Proyeksi arus kas disusun untuk periode 2025-2031 dengan investasi awal ditempatkan pada tahun ke-0. Okupansi harian pada setiap skenario dipertahankan sebagai asumsi tetap agar pengaruh tarif dan tingkat penggunaan dapat dibandingkan secara konsisten. Jumlah sesi tahunan dihitung dari okupansi harian dikalikan 365 hari, sedangkan energi terjual dihitung dari jumlah sesi dikalikan 56 kWh per kendaraan. Tarif pelanggan, harga pokok listrik, dan biaya tenaga kerja dinaikkan sebesar 2,5% per tahun. Pendapatan bruto terdiri atas penjualan energi dan biaya layanan, sedangkan biaya operasional dasar terdiri atas pembelian energi dari PLN dan biaya tenaga kerja.

$$CF_t = S_t \{ [(56 \times T_t)(1 + \text{PPN} + \text{PP})] + F_t \} - [(S_t \times 56 \times \text{HPL}_t) + L_t] \quad (7)$$

$$X_t = X_{2025}(1 + 2,5\%)^{t-1}, \text{ untuk } X = \text{tarif, HPL, dan biaya tenaga kerja} \quad (8)$$

Tabel 3. Dasar penentuan dan formulasi asumsi utama

Parameter	Dasar penentuan/perhitungan	Nilai yang digunakan
Volume lalu lintas	Rata-rata hasil normalisasi 24.453; 35.603; dan 29.995 kendaraan/hari dari tiga periode laporan lalu lintas	30.000 kendaraan/hari
EV rate 2025	98.764 kendaraan listrik / 20.732.922 kendaraan penumpang	0,48%
Probabilitas pengisian	Nilai dasar 11% dengan deviasi ± 3 poin persentase	8%; 11%; 14%
Okupansi total proyek	$30.000 \times 0,48\% \times \text{probabilitas pengisian}$	12; 16; 20 kendaraan/hari

Dasar penentuan/perhitungan			Tabel 4. Rentang pengujian ketidakpastian model			
Parameter	Dasar penentuan/perhitungan	Nilai yang digunakan	Variabel	Nilai dasar	Rentang uji	Tujuan pengujian
Sesi tahunan	Okupansi harian × 365 hari	4.380; 5.840; 7.300 sesi/tahun	CAPEX	Rp2.167.000.000	±10%	Mengukur dampak perubahan harga perangkat dan instalasi
Energi terjual	Sesi tahunan × 56 kWh	245.280; 327.040; 408.800 kWh/tahun				
Proyeksi tahunan	Tarif, HPL, dan tenaga kerja dieskalasi 2,5% per tahun	2025-2031	OPEX tahun awal	Rp703.264.000	±10%	Mengukur tekanan biaya listrik, tenaga kerja, dan operasi
Sumber: diolah dari data penelitian Analisis sensitivitas dilakukan melalui tiga skenario, yaitu pesimis, moderat, dan optimis. Skenario dibedakan berdasarkan perubahan tarif listrik dan tingkat penggunaan charger. Tarif pelanggan divariasikan sebesar -10%, 0%, dan +10% dari tarif dasar, sedangkan probabilitas pengisian ditetapkan sebesar 8%, 11%, dan 14%. Dengan volume lalu lintas 30.000 kendaraan per hari dan EV rate 0,48%, diperoleh estimasi okupansi 12, 16, dan 20 kendaraan per hari. Perbedaan skenario ini dimaksudkan untuk melihat ketahanan proyek ketika permintaan dan tarif bergerak tidak sesuai dengan asumsi dasar.			Inflasi	2,5%/tahun	1,5%; 2,5%; 5%	Menguji perbedaan eskalasi pendapatan dan biaya
			Pertumbuhan kendaraan/hari	16	-20%; dasar; +20%	Menguji ketidakpastian permintaan pengisian
			Discount rate	10%	8%; 10%; 12%	Menguji perubahan biaya modal dan persepsi risiko
			Tarif/HPL	Tarif Rp2.466 dan HPL Rp1.600/kWh	±10%	Menguji perubahan margin penjualan energi

Tabel 2. Skenario sensitivitas tarif dan okupansi charger

Skenario	Tarif awal	Probabilitas	Okupansi
Pesimis	Rp2.219/kWh	8%	12 kendaraan/hari
Moderat	Rp2.466/kWh	11%	16 kendaraan/hari
Optimis	Rp2.713/kWh	14%	20 kendaraan/hari

Sumber: diolah dari data penelitian

Untuk memperluas pembahasan ketidakpastian, analisis tiga skenario dilengkapi dengan uji sensitivitas satu arah. Setiap variabel diubah secara terpisah, sedangkan variabel lainnya dipertahankan pada kondisi moderat. Pengujian mencakup perubahan CAPEX, OPEX, inflasi, pertumbuhan kendaraan listrik yang diterjemahkan ke dalam perubahan okupansi, serta variasi tingkat diskonto. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi arah dan besarnya tekanan terhadap arus kas, NPV, IRR, dan *Payback Period* tanpa mencampurkan pengaruh beberapa variabel secara bersamaan.

Sumber: diolah dari data penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa proyeksi arus kas sangat dipengaruhi oleh jumlah kendaraan yang menggunakan SPKLU setiap hari. Pada skenario moderat tahun 2025, jumlah kendaraan yang mengisi daya sebanyak 16 kendaraan per hari menghasilkan 5.840 sesi pengisian per tahun. Dengan energi efektif 56 kWh per kendaraan, jumlah energi terjual mencapai 327.040 kWh per tahun. Setelah memperhitungkan tarif pelanggan, biaya layanan, PPN, PPJ, harga pokok listrik, dan beban gaji, skenario moderat menghasilkan arus kas bersih tahun awal sebesar Rp577.230.752. Arus kas tersebut meningkat mengikuti eskalasi tarif dan inflasi biaya operasional.

Pada skenario pesimis, pendapatan awal lebih rendah karena okupansi hanya 12 kendaraan per hari dan tarif pelanggan turun menjadi Rp2.219/kWh. Kondisi tersebut menghasilkan ruang arus kas yang lebih sempit dan memperpanjang periode pengembalian modal. Sebaliknya, skenario optimis menunjukkan peningkatan pendapatan ketika okupansi menjadi 20 kendaraan per hari dan tarif pelanggan naik menjadi Rp2.713/kWh. Perbandingan

tersebut menunjukkan bahwa okupansi charger merupakan variabel yang sangat menentukan kelayakan investasi SPKLU. Semakin tinggi jumlah sesi pengisian, semakin besar pendapatan energi dan biaya layanan yang dapat menutup biaya investasi awal.

Tabel 5. Hasil kelayakan finansial tiga skenario

Skenario	NPV	IRR	Payback	Ket.
Pesimis	Rp1,56 miliar	6,33%	6,73 thn	Tidak layak
Moderat	Rp2,89 miliar	16,14%	3,70 thn	Layak
Optimis	Rp4,46 miliar	34,81%	2,42 thn	Layak

Sumber: diolah dari data penelitian

Skenario pesimis menghasilkan NPV positif sebesar Rp1.564.862.185, tetapi IRR hanya 6,33%. Nilai IRR tersebut berada di bawah tingkat diskonto 10% dan juga di bawah tingkat pengembalian yang diharapkan pada investasi infrastruktur berisiko menengah. *Payback Period* selama 6,73 tahun menunjukkan bahwa modal kembali dalam waktu relatif panjang. Dengan demikian, meskipun proyek masih menghasilkan nilai sekarang bersih positif, skenario pesimis belum cukup menarik bagi investor karena tingkat pengembaliannya rendah dan sangat sensitif terhadap risiko permintaan.

Skenario moderat menghasilkan NPV Rp2.891.276.127, IRR 16,14%, dan *Payback Period* 3,70 tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa proyek layak dijalankan apabila okupansi mencapai 16 kendaraan per hari. Skenario ini dapat dianggap sebagai dasar pengambilan keputusan karena tidak terlalu bergantung pada kondisi pasar yang sangat tinggi, tetapi sudah mampu memberikan tingkat pengembalian di atas tingkat diskonto. Dengan periode pengembalian kurang dari empat tahun, risiko pengembalian modal menjadi lebih terkendali dan proyek memiliki peluang untuk dikembangkan secara bertahap.

Skenario optimis menunjukkan hasil terbaik dengan NPV Rp4.464.080.174, IRR 34,81%, dan *Payback Period* 2,42 tahun. Kondisi ini menggambarkan potensi keuntungan yang besar apabila adopsi kendaraan listrik meningkat dan penggunaan SPKLU berada pada tingkat yang lebih tinggi. Namun, realisasi skenario optimis membutuhkan dukungan ekosistem yang kuat, termasuk pertumbuhan kendaraan listrik, promosi layanan pengisian, kemitraan dengan pengelola jalan tol, dan stabilitas kebijakan tarif. Data historis dan proyeksi kendaraan listrik menunjukkan tren kenaikan, tetapi distribusi permintaan masih belum merata di luar wilayah utama Pulau Jawa [17]-[19].

Uji ketidakpastian memperlihatkan bahwa risiko permintaan tetap menjadi faktor dominan. Pada kondisi moderat, perubahan okupansi $\pm 20\%$ dari 16 kendaraan menjadi 12,8 dan 19,2 kendaraan per hari mengubah arus kas bersih tahun pertama dari Rp577.230.752 menjadi sekitar Rp425.784.602 dan Rp728.676.902. Perubahan tersebut lebih besar daripada pengaruh kenaikan atau penurunan OPEX sebesar 10%. Dengan OPEX dasar Rp703.264.000, penurunan OPEX 10% meningkatkan arus kas bersih tahun pertama menjadi sekitar Rp647.557.152, sedangkan kenaikan OPEX 10% menurunkannya menjadi sekitar Rp506.904.352. Perubahan CAPEX $\pm 10\%$ mengubah investasi awal menjadi Rp1.950.300.000-Rp2.383.700.000 dan secara langsung menggeser NPV dengan arah yang berlawanan serta mempercepat atau memperpanjang *Payback Period*. Variasi discount rate 8%-12% tidak mengubah arus kas nominal, tetapi mengubah nilai sekarang dan tingkat penerimaan proyek. Sementara itu, pengaruh inflasi bergantung pada kemampuan operator meneruskan kenaikan biaya ke tarif pelanggan; apabila OPEX meningkat lebih cepat daripada tarif, margin proyek akan menurun.

Hasil tersebut konsisten dengan Schroeder dan Traber [8] serta Madina et al. [9] yang menempatkan utilitas, struktur tarif, dan model bisnis sebagai faktor utama ekonomi fasilitas pengisian cepat. Studi Wood et al. [14], Xu et al. [15], Shahraki et al. [16], dan Sadeghi-Barzani et al. [17] lebih menekankan penentuan lokasi, cakupan permintaan, dan ukuran fasilitas, sedangkan Unterluggauer et al. [19] membahas integrasi perencanaan transportasi dan jaringan tenaga listrik. Penelitian ini melengkapi studi tersebut dengan menerjemahkan arus lalu lintas dan penetrasi EV menjadi ambang okupansi finansial pada koridor antarpulau yang masih berkembang. Secara kritis, hasil penelitian menunjukkan bahwa keunggulan lokasi strategis tidak otomatis menjamin kelayakan: investasi hanya menjadi menarik apabila lokasi mampu mengonversi lalu lintas menjadi sesi pengisian yang cukup. Oleh sebab itu, kontribusi ilmiahnya terletak pada hubungan antara karakter lokus, permintaan aktual, dan strategi investasi bertahap untuk SPKLU ultra fast charging.

Risiko utama pembangunan SPKLU di lokasi penelitian meliputi rendahnya permintaan kendaraan listrik pada tahap awal, tingginya biaya investasi, risiko keselamatan instalasi listrik, risiko keamanan siber, serta perubahan kebijakan tarif dan insentif. Risiko permintaan menjadi faktor paling penting karena pendapatan proyek secara langsung bergantung pada jumlah sesi pengisian. Risiko biaya investasi muncul karena teknologi ultra fast charging membutuhkan CAPEX yang relatif besar. Selain itu,

sistem pengisian daya bertegangan tinggi harus memenuhi standar keselamatan, konektor, proteksi arus, sistem pembumian, dan prosedur operasi yang aman [13], [20].

Tabel 6. Risiko utama dan strategi mitigasi

Risiko	Dampak	Mitigasi
Permintaan EV rendah	Utilisasi dan arus kas turun	Lokasi strategis, promosi, evaluasi utilisasi, pengembangan bertahap
Biaya investasi tinggi	CAPEX awal besar	Cost sharing/revenue sharing dan pemanfaatan infrastruktur eksisting
Keselamatan listrik	Kebakaran atau sengatan listrik	Standar instalasi, proteksi arus, grounding, automatic shutdown, SOP K3
Keamanan siber	Gangguan sistem dan kebocoran data	Enkripsi, kontrol akses, pembaruan perangkat lunak, monitoring sistem
Perubahan tarif dan insentif	Pendapatan dan permintaan turun	Model bisnis fleksibel, diversifikasi pendapatan, koordinasi regulator

Sumber: diolah dari data penelitian

Strategi mitigasi yang paling relevan adalah pengembangan bertahap. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip lean investment karena menekan risiko investasi awal dan memberi ruang bagi investor untuk menambah kapasitas setelah permintaan terbukti meningkat. Pengelola dapat memulai dengan kapasitas terbatas, memantau utilisasi secara berkala, lalu menambah unit ketika tingkat penggunaan mendekati ambang kapasitas tertentu. Strategi lain yang penting adalah kolaborasi dengan pengelola jalan tol dan pemerintah daerah untuk memperoleh dukungan lokasi, promosi, integrasi layanan, serta skema kerja sama yang menurunkan beban investasi.

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa pembangunan SPKLU ultra fast charging pada koridor Tol Bakauheni-Terbanggi Besar memiliki prospek yang baik, terutama ketika dilihat sebagai investasi jangka menengah yang mendukung transisi energi. Namun, keberhasilan proyek tidak hanya ditentukan oleh hasil NPV dan IRR, tetapi juga oleh kemampuan pengelola mengendalikan risiko permintaan, menjaga mutu layanan, dan menyesuaikan strategi bisnis dengan dinamika kebijakan kendaraan listrik di Indonesia [21]-[23]. Dengan demikian, investasi SPKLU sebaiknya dipandang sebagai kombinasi antara keputusan finansial, strategi operasional, dan dukungan kebijakan.

Dari sisi permintaan, kelayakan proyek sangat bergantung pada kemampuan lokasi menangkap arus kendaraan listrik yang benar-benar membutuhkan

pengisian daya. Volume lalu lintas yang besar belum otomatis menghasilkan okupansi tinggi karena hanya sebagian kendaraan yang merupakan kendaraan listrik dan hanya sebagian dari kendaraan listrik tersebut yang melakukan pengisian. Oleh karena itu, analisis *Traffic-to-Demand Conversion* menjadi penting untuk menghubungkan arus lalu lintas dengan permintaan pengisian yang lebih realistis [14], [15]. Pada tahap awal pengembangan pasar, operator SPKLU perlu memantau rasio kendaraan yang berhenti, durasi pengisian, waktu antre, serta pola kunjungan harian. Data tersebut dapat digunakan untuk memperbaiki asumsi arus kas dan menentukan waktu penambahan unit berikutnya.

Aspek lokasi juga menjadi faktor penentu karena pengguna kendaraan listrik di jalan tol cenderung memilih titik pengisian yang mudah dijangkau, aman, dan terintegrasi dengan fasilitas istirahat. SPKLU yang ditempatkan pada koridor strategis perlu memiliki akses masuk-keluar yang jelas, ruang parkir yang cukup, pencahayaan memadai, serta informasi ketersediaan charger yang dapat dipantau secara digital. Apabila fasilitas pengisian berada pada lokasi yang tidak nyaman atau sulit ditemukan, tingkat utilisasi dapat lebih rendah dari proyeksi meskipun volume lalu lintas tinggi. Dengan demikian, studi kelayakan finansial perlu dibaca bersama pertimbangan operasional agar keputusan investasi tidak hanya bertumpu pada angka NPV dan IRR.

Dari sisi tarif, pendapatan SPKLU dipengaruhi oleh kombinasi harga energi, biaya layanan, pajak, dan jumlah sesi pengisian. Perubahan tarif pelanggan dapat meningkatkan pendapatan, tetapi juga dapat memengaruhi minat pengguna apabila biaya pengisian dianggap terlalu tinggi. Sebaliknya, tarif yang terlalu rendah dapat memperpanjang periode pengembalian investasi. Kondisi ini menunjukkan perlunya keseimbangan antara keterjangkauan bagi pengguna dan kelayakan bagi investor. Pada skenario moderat, tarif dasar pelanggan dan okupansi 16 kendaraan per hari sudah mampu menghasilkan IRR di atas tingkat diskonto, sehingga skenario tersebut dapat digunakan sebagai acuan awal dalam merancang model bisnis.

Risiko keselamatan perlu mendapatkan perhatian khusus karena SPKLU ultra fast charging bekerja pada daya tinggi dan digunakan oleh masyarakat umum. Potensi risiko yang perlu dikendalikan meliputi panas berlebih, kegagalan konektor, gangguan sistem proteksi, sengatan listrik, serta kesalahan prosedur penggunaan. Mitigasi risiko dapat dilakukan melalui standar instalasi yang ketat, pemeriksaan berkala, sistem automatic shutdown, pembumian yang memadai, serta petunjuk

penggunaan yang mudah dipahami. Selain aspek teknis, pelatihan operator juga penting agar gangguan operasional dapat ditangani dengan cepat dan tidak menurunkan kepercayaan pengguna.

Risiko keamanan siber juga menjadi semakin relevan karena layanan SPKLU modern terhubung dengan aplikasi, sistem pembayaran, pemantauan jarak jauh, dan basis data pengguna. Gangguan pada sistem digital dapat menghambat transaksi, menurunkan keandalan layanan, atau menimbulkan risiko kebocoran data. Oleh karena itu, pengelola perlu menerapkan kontrol akses, pembaruan perangkat lunak, enkripsi transaksi, dan pemantauan sistem secara berkala. Kesiapan digital tidak hanya mendukung keamanan, tetapi juga membantu pengelola memahami pola penggunaan dan mengambil keputusan operasional berbasis data.

Implikasi manajerial dari hasil penelitian ini adalah perlunya strategi investasi bertahap. Pembangunan awal dua unit SPKLU dapat menjadi tahap validasi permintaan sebelum dilakukan ekspansi menuju jumlah titik pengisian yang lebih besar. Apabila utilisasi menunjukkan tren meningkat dan waktu tunggu pengguna mulai bertambah, kapasitas dapat dinaikkan secara bertahap. Sebaliknya, apabila utilisasi masih rendah, pengelola dapat memperkuat promosi, melakukan kerja sama dengan komunitas kendaraan listrik, dan meningkatkan visibilitas lokasi melalui aplikasi navigasi. Strategi ini membuat keputusan investasi lebih adaptif terhadap perkembangan pasar kendaraan listrik.

Secara metodologis, penelitian ini tetap memiliki keterbatasan karena menggunakan data sekunder dan sejumlah asumsi dalam menyusun arus kas. Penambahan uji CAPEX, OPEX, inflasi, pertumbuhan EV, tarif, dan discount rate memperluas evaluasi ketidakpastian, tetapi analisis masih bersifat deterministik satu arah dan belum menggambarkan probabilitas gabungan seperti pada simulasi Monte Carlo. Perubahan harga perangkat, biaya lahan, pola perjalanan pengguna, insentif pemerintah, serta pertumbuhan kendaraan listrik dapat mengubah hasil perhitungan. Penelitian ini juga belum memasukkan survei preferensi pengguna secara langsung sehingga probabilitas pengisian masih dihitung berdasarkan pendekatan skenario. Meskipun demikian, formulasi asumsi dan tahapan arus kas yang diperjelas memungkinkan model direplikasi dan diperbarui ketika data primer tersedia.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pembangunan SPKLU pada koridor tol tidak dapat dilepaskan dari agenda transisi energi yang lebih luas. Keberadaan SPKLU dapat meningkatkan kepercayaan pengguna kendaraan listrik untuk

melakukan perjalanan jarak jauh, tetapi keberlanjutan proyek tetap memerlukan kepastian permintaan dan pengelolaan risiko. Dengan demikian, kolaborasi antara investor, pengelola jalan tol, PLN, pemerintah daerah, dan komunitas pengguna kendaraan listrik menjadi prasyarat penting. Kolaborasi tersebut dapat memperkuat sisi permintaan, memperbaiki kualitas layanan, dan mendukung pengembangan infrastruktur kendaraan listrik yang lebih merata.

Berdasarkan hasil tersebut, pengelolaan SPKLU di koridor tol perlu menempatkan keandalan layanan sebagai indikator operasional utama. Pengguna kendaraan listrik pada perjalanan jarak jauh membutuhkan kepastian bahwa charger tersedia, sistem pembayaran berjalan, dan proses pengisian dapat diselesaikan tanpa gangguan. Apabila tingkat kegagalan layanan tinggi, pengguna dapat menghindari lokasi tersebut meskipun secara geografis berada pada titik strategis. Oleh karena itu, selain menghitung kelayakan finansial, pengelola perlu menyiapkan standar layanan minimum seperti waktu respons gangguan, ketersediaan perangkat, informasi status pengisian secara real-time, dan prosedur penanganan antrean. Standar tersebut akan membantu menjaga utilisasi sekaligus menurunkan risiko penurunan pendapatan akibat gangguan operasional.

Dalam perspektif pengembangan jangka panjang, proyek SPKLU pada ruas Tol Bakauheni-Terbanggi Besar dapat menjadi model awal bagi pengembangan titik pengisian lain di koridor Trans Sumatera. Tahap awal dua unit berfungsi sebagai sarana pengujian pasar, sedangkan hasil pemantauan okupansi dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan ekspansi. Apabila permintaan meningkat, penambahan unit dapat dilakukan pada lokasi yang sama atau pada titik lain yang memiliki jarak layanan lebih ideal. Pendekatan ini menghindari risiko overcapacity pada awal investasi dan tetap memberi peluang pertumbuhan ketika adopsi kendaraan listrik meningkat. Dengan demikian, kelayakan finansial tidak hanya bergantung pada hasil perhitungan saat ini, tetapi juga pada kemampuan pengelola menyesuaikan kapasitas terhadap perubahan permintaan.

4. KESIMPULAN

Pembangunan dua unit SPKLU *ultra fast charging* 100 kW pada koridor Tol Bakauheni-Terbanggi Besar menunjukkan kelayakan finansial pada kondisi moderat dan optimis. Skenario moderat menghasilkan NPV Rp2.891.276.127, IRR 16,14%, dan Payback Period 3,70 tahun, sedangkan skenario optimis menghasilkan NPV Rp4.464.080.174, IRR 34,81%, dan Payback Period 2,42 tahun. Skenario

pesimis belum menarik secara finansial karena IRR hanya 6,33% dan Payback Period mencapai 6,73 tahun. Variabel paling menentukan adalah okupansi charger dan pertumbuhan kendaraan listrik, diikuti CAPEX, OPEX, struktur tarif, inflasi, dan tingkat diskonto. Kebaruan penelitian terletak pada lokasi koridor antarpulau Bakauheni-Terbanggi Besar dan fokus khusus pada investasi *ultra fast charging* 100 kW, dengan mengintegrasikan Traffic-to-Demand Conversion, kelayakan finansial, dan pengembangan bertahap. Oleh karena itu, proyek disarankan dijalankan melalui kolaborasi dengan pengelola jalan tol, penguatan sistem keselamatan dan keamanan digital, serta model bisnis yang fleksibel terhadap perubahan permintaan, tarif, dan biaya. Penelitian lanjutan dapat memperkuat hasil melalui survei primer pengguna kendaraan listrik, simulasi Monte Carlo, analisis lokasi berbasis data geospasial, serta evaluasi dampak lingkungan dan sosial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penyusunan penelitian ini, khususnya Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ajanovic and R. Haas, "Dissemination of electric vehicles in urban areas: Major factors for success," *Energy*, vol. 115, pp. 1451-1458, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.05.040.
- [2] M. Coffman, P. Bernstein, and S. Wee, "Electric vehicles revisited: A review of factors that affect adoption," *Transport Reviews*, vol. 37, no. 1, pp. 79-93, 2017, doi: 10.1080/01441647.2016.1217282.
- [3] W. Sierzechula, S. Bakker, K. Maat, and B. van Wee, "The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption," *Energy Policy*, vol. 68, pp. 183-194, 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2014.01.043.
- [4] S. Hardman, A. Jenn, G. Tal, J. Axsen, G. Beard, N. Daina, et al., "A review of consumer preferences of and interactions with electric vehicle charging infrastructure," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 62, pp. 508-523, 2018, doi: 10.1016/j.trd.2018.04.002.
- [5] Y.-Y. Wang, Y.-Y. Chi, J.-H. Xu, and J.-L. Li, "Consumer preferences for electric vehicle charging infrastructure based on the text mining method," *Energies*, vol. 14, no. 15, p. 4598, 2021, doi: 10.3390/en14154598.
- [6] H. Liu, Y. Li, C. Zhang, J. Li, X. Li, and Y. Zhao, "Electric vehicle charging station location model considering charging choice behavior and range anxiety," *Sustainability*, vol. 14, no. 7, p. 4213, 2022, doi: 10.3390/su14074213.
- [7] P. Morrissey, P. Weldon, and M. O'Mahony, "Future standard and fast charging infrastructure planning: An analysis of electric vehicle charging behaviour," *Energy Policy*, vol. 89, pp. 257-270, 2016, doi: 10.1016/j.enpol.2015.12.001.
- [8] A. Schroeder and T. Traber, "The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles," *Energy Policy*, vol. 43, pp. 136-144, 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2011.12.041.
- [9] C. Madina, I. Zamora, and E. Zabala, "Methodology for assessing electric vehicle charging infrastructure business models," *Energy Policy*, vol. 89, pp. 284-293, 2016, doi: 10.1016/j.enpol.2015.12.007.
- [10] Z. Dobrowolski and G. Drozdowski, "Does the net present value as a financial metric fit investment in green energy security?" *Energies*, vol. 15, no. 1, p. 353, 2022, doi: 10.3390/en15010353.
- [11] M. V. Sokolov, "NPV, IRR, PI, PP, and DPP: A unified view," *Journal of Mathematical Economics*, vol. 114, p. 102992, 2024, doi: 10.1016/j.jmateco.2024.102992.
- [12] D. A. Mellichamp, "Internal rate of return: Good and bad features, and a new way of interpreting the historic measure," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 106, pp. 396-406, 2017, doi: 10.1016/j.compchemeng.2017.06.005.
- [13] A. Awasthi, K. Venkitesamy, S. Padmanaban, R. Selvamuthukumar, F. Blaabjerg, and A. K. Singh, "Optimal planning of electric vehicle charging station at the distribution system using hybrid optimization algorithm," *Energy*, vol. 133, pp. 70-78, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.05.094.
- [14] E. Wood, C. Rames, M. Muratori, S. Raghavan, and M. Melaina, *National Plug-In Electric Vehicle Infrastructure Analysis*. National Renewable Energy Laboratory, 2017, doi: 10.2172/1393792.
- [15] D. Xu, W. Pei, and Q. Zhang, "Optimal planning of electric vehicle charging stations considering user satisfaction and charging convenience," *Energies*, vol. 15, no. 14, p. 5027, 2022, doi: 10.3390/en15145027.
- [16] N. Shahraki, H. Cai, M. Turkey, and M. Xu, "Optimal locations of electric public charging stations using real world vehicle travel patterns," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 41, pp. 165-176, 2015, doi: 10.1016/j.trd.2015.09.011.
- [17] P. Sadeghi-Barzani, A. Rajabi-Ghahnavieh, and H. Kazemi-Karegar, "Optimal fast charging station placing and sizing," *Applied Energy*, vol. 125, pp. 289-299, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.03.077.
- [18] W. Tu, Q. Li, Z. Fang, S.-L. Shaw, B. Zhou, and X. Chang, "Optimizing the locations of electric taxi charging stations: A spatial-temporal demand coverage approach," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 65, pp. 172-189, 2016, doi: 10.1016/j.trc.2015.10.004.
- [19] T. Unterluggauer, J. Rich, P. B. Andersen, and S. Hashemi, "Electric vehicle charging infrastructure planning for integrated transportation and power distribution networks: A review," *eTransportation*, vol. 12, p. 100163, 2022, doi: 10.1016/j.etrans.2022.100163.
- [20] J. Johnson, T. Berg, B. Anderson, and B. Wright, "Review of electric vehicle charger cybersecurity vulnerabilities, potential impacts, and defenses," *Energies*, vol. 15, no. 11, p. 3931, 2022, doi: 10.3390/en15113931.
- [21] Z. Garofalaki, D. Kosmanos, S. Moschogiannis, D. Kallergis, and C. Douligeris, "Electric vehicle charging: A survey on the security issues and challenges of the open charge point protocol (OCPP)," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 24, no. 3, pp. 1504-1533, 2022, doi: 10.1109/COMST.2022.3184448.
- [22] S. R. Kirchner, "OCPP interoperability: A unified future of charging," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 15, no. 5, p. 191, 2024, doi: 10.3390/wevj15050191.
- [23] International Energy Agency, *Global EV Outlook 2023: Catching up with Climate Ambitions*. Paris: OECD Publishing, 2023, doi: 10.1787/cbe724e8-en.
- [24] Arif, M., Prabowo, E., & YASSER, R. (2025). *Studi Kelayakan PLTS Off-Grid untuk Substitusi Auxiliary Power pada Sistem WTP PLTU Malinau 2X3 MW* (Doctoral dissertation, IT PLN).
- [25] Anggara, A., Prabowo, E., & Indarto, A. (2025). *Studi Kelayakan Finansial Plts On-Grid Untuk Auxiliary Power Pada Pemakaian Sendiri Gardu Induk Tangerang Lama* (Doctoral dissertation, IT PLN).

-
- [28] Mr, A., & Prabowo, E. (2025). *Analisis Kelayakan Investasi Layanan Pengisian Daya di Rumah (Home Charging Services) Dalam Mendukung Ekosistem Kendaraan Listrik: Studi Kasus PLN UID Riau dan Kepulauan Riau* (Doctoral dissertation, ITPLN).
- [29] Nugraha, D. A. H., & Prabowo, E. (2026). *STUDI KELAYAKAN PENERAPAN TEKNOLOGI V2G PADA BUS LISTRIK TRANSJAKARTA DALAM MENDUKUNG NET ZERO EMISSION 2060* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi PLN).
- [30] Prabowo, E. (2026). KELAYAKAN TEKNO-EKONOMI PLTSA INSINERASI 10 MW DI TPA TERJUN KOTA MEDAN. *Integrative Perspectives of Social and Science Journal*, 3(04 April), 1771-1779.
- [31] Abdurrohman, M. Z., Batih, H., & Prabowo, E. (2023). Analisis Kelayakan PLTS Atap Menggunakan Metode Real Option dengan Pemanfaatan Insentif Pendanaan: Studi Kasus SMA Future Gate. *Dinamika Rekayasa*, 19(1), 19-28.
- [32] Siregar, W. N. N., & Prabowo, E. (2023). Business Design Of Public Electric Vehicle Charging Stations For Trans Java Cikampek–Surabaya Toll With The Dynamic System Approach. *Jurnal IPTEK*, 27(1), 37-50.
- [32] Ariansyah Putra, M., & Prabowo, E. (2024). *Analisis Kelayakan Proyek Pembangunan Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) Apung Tembesi 40 MWp di Sistem Kelistrikan Batam–Bintan* (Doctoral dissertation, IT PLN).
- [33] Jaenuddin, M. R., Prabowo, E., & Jaenuddin, N. (2025). Studi Kelayakan Pemasangan Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) di Wilayah Kota Makassar. *Journal of Syntax Literate*, 10(12).
- [34] Putra, M. A., & Prabowo, E. (2026). Feasibility Analysis of the 40 MWp Tembesi Floating Solar Power Plant Development Project. *Journal La Multiapp*, 7(2), 511-524.