Journal of Sustainability and Science Economic, Vol. 4 (2) 2026
10.62337/jsse.v4i2.110
ISSN 3031-9536 (Print) dan ISSN 3031-9285 (*Online*)

Adopsi Kendaraan Listrik terhadap Konsumsi Listrik di Indonesia

Muhammad Ilmam Faqih[1,2*], **Rumayya**[1]
[1]Program Studi Magister Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Airlangga, Indonesia
[2]PT PLN Persero
**e-mail korespondensi penulis: muhammad.ilmam.faqih-2024@feb.unair.ac.id*

Info Artikel

Riwayat Artikel:
Diterima: 24 Oktober 2026
Direvisi: 26 Oktober 2026
Dipublikasikan: 30 Oktober 2026

Keyword:
Electric Vehicles; Electricity Demand; Public Electric Vehicle Charging Infrastructure; Home Charging; GDP Per Capita.

ABSTRACT

This study aims to: (1) estimate and empirically test the effect of electric vehicle adoption on electricity consumption in Indonesia, (2) measure the magnitude of the effect of electric vehicle charging infrastructure on electricity consumption, and (3) examine the effect of government policy on electricity consumption in Indonesia. This thesis employs quantitative research with a descriptive and verification approach. This study utilizes secondary data obtained from various official and verified sources, with panel data covering 38 provinces in Indonesia during the 2020–2024 period. The analytical techniques used include classical assumption tests and panel econometric models to analyze the relationship between electric vehicle (EV) adoption and electricity consumption in Indonesia. In processing panel data (data across time and across provinces), a panel regression model with fixed effects was used. The results show that: (1) electric vehicles have a positive effect on electricity consumption, (2) electric vehicle charging infrastructure has a positive and significant effect on electricity consumption, with a stronger level of significance than electric vehicles in certain models, and (3) government policy has a negative and significant effect on electricity consumption.

Kata Kunci:
Kendaraan Listrik; Permintaan Listrik; Infrastruktur Spklu; *Home Charging*; GDP Per Kapita

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengestimasi dan menguji secara empiris pengaruh adopsi kendaraan listrik terhadap konsumsi listrik di Indonesia, (2) mengukur besaran pengaruh infrastruktur pengisian kendaraan listrik terhadap konsumsi listrik, dan (3) menguji pengaruh kebijakan pemerintah terhadap konsumsi listrik di Indonesia. Jenis penelitian yang digunakan dalam tesis ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif dan verifikatif. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber resmi dan terverifikasi, dengan cakupan data panel pada 38 provinsi di Indonesia selama periode 2020–2024. Teknik analisis yang digunakan meliputi uji asumsi klasik dan model ekonometrika panel untuk menganalisis hubungan antara adopsi kendaraan listrik (EV) dan konsumsi listrik di Indonesia. Dalam mengolah data yang bersifat panel (data lintas waktu dan lintas provinsi), model yang digunakan adalah model regresi panel dengan efek tetap (fixed effects). Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) kendaraan listrik memiliki pengaruh positif terhadap konsumsi Listrik, (2) infrastruktur pengisian kendaraan listrik terbukti memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap konsumsi listrik, dengan tingkat signifikansi yang lebih kuat dibandingkan kendaraan listrik pada model tertentu, dan (3) kebijakan pemerintah memiliki pengaruh negatif dan signifikan terhadap konsumsi listrik.

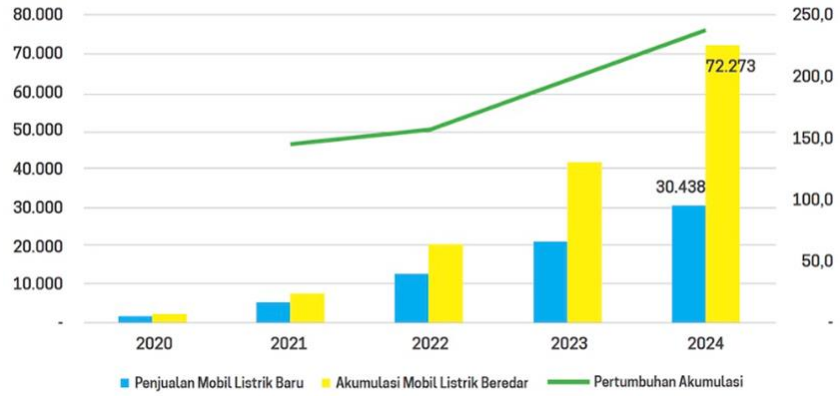
© 2025 The Authors. Published by Atma Workshop Innovation. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

PENDAHULUAN

Peningkatan emisi karbon yang berkaitan erat dengan aktivitas energi dan transportasi mendorong banyak negara mengarusutamakan elektrifikasi kendaraan sebagai strategi dekarbonisasi. Dorongan ini tidak berdiri sendiri, sektor transportasi diproyeksikan tetap menjadi salah satu penyumbang emisi terbesar apabila pola mobilitas dan konsumsi energi tidak berubah. Karena itu, kendaraan listrik (*electric vehicle*/EV) diposisikan sebagai salah satu opsi kunci untuk mengurangi emisi sektor transportasi. Literatur menegaskan bahwa EV berpotensi menekan emisi pada sisi penggunaan.

Dalam konteks Indonesia, agenda percepatan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai berkembang pesat dan ditopang oleh kebijakan serta strategi industrialisasi. Studi input output

oleh (Pirmana, Alisjahbana, Yusuf, Hoekstra, & Tukker, 2023) menunjukkan bahwa Indonesia memiliki modal penting untuk masuk lebih dalam ke rantai nilai global EV, terutama melalui ketersediaan mineral strategis seperti nikel (dan kebijakan hilirisasi yang mendorong pembangunan ekosistem baterai). Dalam kajian tersebut juga dijelaskan kerangka kebijakan percepatan EV (misalnya Perpres percepatan KBLBB dan regulasi sektor energi terkait pengisian/ketenagalistrikan) sebagai bagian dari upaya membangun industri EV domestik. Secara ekonomi, penguatan industri EV dan baterai dipandang berpotensi meningkatkan output, nilai tambah, dan penyerapan tenaga kerja—sekaligus memperkuat posisi Indonesia dalam rantai pasok EV.



Sumber: Kemenperin, 2025.

Gambar 1 Data Penjualan Mobil Listrik 2020 – 2024

Bersumber dari Kemenperin, grafik yang ditampilkan diatas menggambarkan perkembangan penjualan mobil listrik baru, akumulasi mobil listrik yang beredar, dan pertumbuhan akumulasi mobil listrik di Indonesia dari tahun 2020 hingga 2024. Penjualan mobil listrik baru di Indonesia menunjukkan tren yang signifikan sejak 2022. Pada 2020 dan 2021, penjualannya masih sangat rendah, namun mulai meningkat pesat pada 2022 dan 2023. Di tahun 2023, penjualan mobil listrik baru telah mencapai lebih dari 30.000 unit. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan minat terhadap mobil listrik yang didorong oleh kebijakan pemerintah dan berkembangnya infrastruktur kendaraan listrik di Indonesia. Akumulasi mobil listrik yang beredar juga menunjukkan pertumbuhan yang signifikan. Pada 2020, jumlah mobil listrik yang beredar masih sangat rendah, namun jumlah ini terus meningkat setiap tahunnya. Pada 2024, akumulasi mobil listrik yang beredar diperkirakan akan mencapai lebih dari 70.000 unit. Ini mencerminkan upaya yang konsisten dari pemerintah dan sektor industri untuk mempercepat transisi ke kendaraan listrik di Indonesia. Garis hijau menunjukkan pertumbuhan akumulasi mobil listrik yang beredar dari tahun ke tahun. Pertumbuhannya sangat tajam, terutama pada tahun 2022 hingga 2024. Pada tahun 2024, pertumbuhannya diperkirakan akan mencapai lebih dari 200%, yang menunjukkan momentum besar dalam adopsi kendaraan listrik di Indonesia. Ini mencerminkan keberhasilan kebijakan pemerintah dalam merangsang pasar mobil listrik dan menunjukkan potensi pasar yang sangat besar di masa depan.

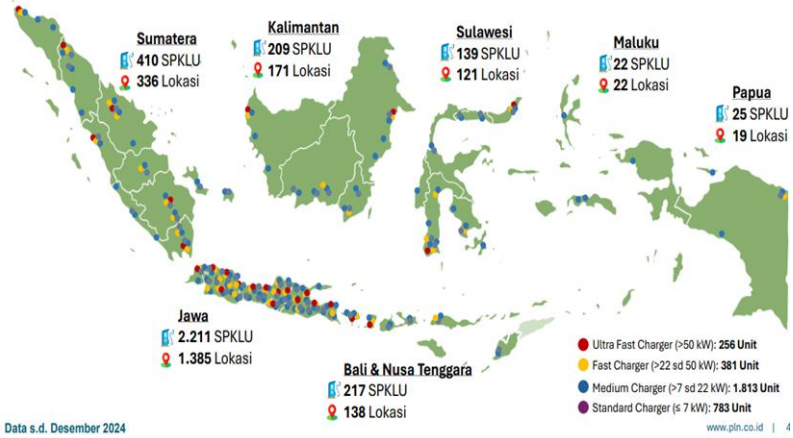
Namun, EV bukan sekadar isu industri dan lingkungan, tetapi ia juga berkaitan dengan isu ekonomi-energi yang berkaitan erat dengan sistem kelistrikan. Secara teoritis, elektrifikasi transportasi memindahkan konsumsi energi dari bensin/diesel ke listrik. Artinya, ketika stok/penjualan EV meningkat, kebutuhan pengisian daya meningkat dan membentuk

permintaan listrik baru. (Nel & Inglesi-lotz, 2025) menegaskan bahwa hubungan antara adopsi EV dan konsumsi listrik bersifat kompleks karena dipengaruhi banyak faktor, dan peningkatan adopsi EV dapat memunculkan dampak peningkatan kebutuhan kapasitas pembangkitan. Karena itu, dibutuhkan kebijakan dan keputusan tarif yang lebih proaktif agar sistem kelistrikan siap menampung pertumbuhan permintaan listrik dari pengisian EV. Masih dalam (Nel & Inglesi-lotz, 2025), mengacu pada IEA, disebutkan bahwa konsumsi listrik dari EV dapat mencapai porsi yang tinggi terhadap total konsumsi listrik (misalnya dalam skenario kebijakan tertentu hingga belasan persen pada 2035 untuk wilayah tertentu). Implikasi ekonominya jelas, bahwa pembuat kebijakan perlu memastikan kesiapan investasi kapasitas pembangkit pada pasar listrik terpusat atau memastikan insentif investasi swasta yang memadai pada pasar listrik yang lebih terbuka/desentral.

Pada beberapa literatur, terdapat studi yang menggabungkan perspektif kebijakan dan struktur ekonomi yang memperlihatkan bahwa dampak EV dapat berakibat dua arah, yakni menurunkan emisi pada satu sisi namun juga menambah aktivitas ekonomi/energi pada sisi lain. (Chen, Carrel, Gore, & Shi, 2021) mengintegrasikan model pilihan diskrit dengan model keseimbangan umum terkomputasi (CGE) untuk mengevaluasi pasar EV dan kebijakan terkait. Hasilnya menunjukkan bahwa subsidi dan peningkatan produktivitas baterai dapat mendorong pertumbuhan ekonomi, tetapi juga berpotensi meningkatkan aktivitas hulu–hilir (upstream–downstream) yang kemudian menambah emisi non-tailpipe (melalui kapasitas produksi/aktivitas energi), sehingga outcome lingkungan sangat dipengaruhi struktur energi dan kebijakan yang menyertainya.

Bukti empiris yang mengukur langsung efek EV pada konsumsi listrik juga sudah kuat dan relevan sebagai pijakan desain riset. (Ferdousee, 2022) menggunakan data panel bulanan tingkat county di California periode 2010–2019 dan menemukan bahwa adopsi EV serta infrastruktur pendukungnya berpengaruh positif dan signifikan terhadap konsumsi listrik sektor residensial dan komersial. Secara kuantitatif, studi tersebut menunjukkan bahwa kenaikan 1% jumlah charging connectors berkaitan dengan kenaikan sekitar 0,012% konsumsi listrik bulanan residensial dan komersial. Temuan ini penting karena mempertegas bahwa ekspansi infrastruktur pengisian bukan sekadar pelengkap adopsi, melainkan kanal permintaan listrik yang nyata dan terukur.

Kondisi Indonesia membuat gap tersebut makin relevan. Di satu sisi, kajian *input output* oleh (Pirmana et al., 2023) memperlihatkan dampak ekonomi dari pengembangan produksi EV (*output* dan nilai tambah), tetapi sekaligus menyatakan keterbatasan bahwa analisis tersebut belum memasukkan fase penggunaan (*use phase*), sehingga konsekuensi adopsi EV terhadap konsumsi listrik pada sisi demand belum terkuantifikasi secara langsung. Di sisi lain, studi tinjauan mengenai Indonesia juga menunjukkan bahwa adopsi EV dipengaruhi faktor perilaku/niat adopsi (misalnya persepsi lingkungan, insentif, kenyamanan, dan kesiapan infrastruktur), tetapi kajian semacam ini umumnya tidak menghubungkan indikator adopsi tersebut dengan data konsumsi listrik sektoral/agregat secara eksplisit.



Sumber : PLN, 2025.

Gambar 2 Data Sebaran SPKLU di Indonesia s.d Desember 2024

Peta yang ditampilkan menunjukkan distribusi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) di Indonesia, yang telah disiapkan oleh PLN untuk mendukung mobilitas kendaraan listrik di seluruh wilayah Indonesia hingga Desember 2024. Terdapat total 3.233 unit SPKLU yang tersebar di 2.192 lokasi di seluruh Indonesia. SPKLU ini terdiri dari empat jenis pengisi daya berdasarkan kapasitasnya. Jawa merupakan pulau dengan jumlah SPKLU terbanyak, yaitu 2.211 unit yang tersebar di 1.385 lokasi. Hal ini mencerminkan tingginya permintaan dan penggunaan kendaraan listrik di wilayah ini. Peta ini menyoroti upaya PLN dalam memfasilitasi transisi menuju kendaraan listrik di Indonesia, yang merupakan bagian dari inisiatif untuk mengurangi emisi karbon dan mempercepat penggunaan energi terbarukan. Penyediaan SPKLU yang tersebar di berbagai lokasi di Indonesia bertujuan untuk memberikan kemudahan akses bagi pengguna kendaraan listrik, memperluas jangkauan kendaraan listrik di seluruh wilayah, dan mendukung keberlanjutan ekosistem kendaraan listrik di Indonesia.

Dengan terus berkembangnya jumlah dan distribusi SPKLU ini, Indonesia diharapkan dapat mempercepat adopsi kendaraan listrik dan meningkatkan infrastruktur yang mendukungnya, menjadikan kendaraan listrik lebih praktis dan terjangkau untuk masyarakat Indonesia. Dengan kata lain, isu EV di Indonesia sudah bergeser dari sekadar "agenda kebijakan" menjadi fenomena permintaan listrik yang dapat diobservasi dan berpotensi memengaruhi perencanaan kapasitas pembangkit, investasi jaringan, serta desain tarif listrik. Selain data aktual, kajian yang sama juga menampilkan proyeksi tambahan permintaan listrik akibat kendaraan penumpang listrik yang dapat mencapai kisaran TWh pada horizon 2025 hingga 2050 dalam berbagai skenario.

Tabel 1. Konsumsi Listrik Per Kapita Nasional 2020 - 2024

Tahun	Konsumsi Tenaga Listrik (GWh)	Jumlah Penduduk	Konsumsi Tenaga Listrik Perkapita (kWh/Kapita)
2020	293.465	269.603.400	1.089
2021	305.627	272.248.500	1.123
2022	322.337	274.859.100	1.173
2023	370.997	277.433.400	1.337
2024	397.606	281.603.900	1.411

Sumber : Kementerian ESDM, 2025

Tabel yang ditampilkan menggambarkan Konsumsi Listrik per Kapita Nasional di Indonesia dari tahun 2020 hingga 2024. Konsumsi listrik per kapita dihitung dengan

membandingkan pemakaian tenaga listrik total (dalam GWh) dengan jumlah penduduk Indonesia pada tahun tersebut. Tabel ini menunjukkan bahwa konsumsi listrik di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan dari tahun 2020 hingga 2024, baik dari sisi total konsumsi maupun konsumsi per kapita. Hal ini mencerminkan pertumbuhan ekonomi dan perkembangan infrastruktur di Indonesia, di mana lebih banyak individu yang mengakses listrik dan menggunakan lebih banyak energi. Meskipun jumlah konsumsi meningkat, konsumsi per kapita masih relatif rendah dibandingkan dengan negara-negara dengan tingkat perkembangan yang lebih tinggi. Ke depan, peningkatan konsumsi listrik per kapita ini dapat menjadi indikator penting untuk perencanaan energi dan keberlanjutan sistem kelistrikan di Indonesia.

Penelitian mengenai kendaraan listrik dalam lima tahun terakhir menunjukkan perkembangan yang mencakup aspek adopsi kendaraan, pembangunan infrastruktur pengisian daya, kebijakan pemerintah, dan dampaknya terhadap sistem energi. Namun, terdapat perbedaan fokus antara penelitian yang mengkaji faktor pendorong adopsi kendaraan listrik dan penelitian yang mengukur konsekuensi penggunaan kendaraan listrik terhadap permintaan listrik. (Nel & Inglesi-lotz, 2025) misalnya, menganalisis hubungan adopsi kendaraan listrik dan konsumsi listrik pada 20 negara Eropa menggunakan model *Error Correction Model*. Hasilnya menunjukkan bahwa hubungan tersebut positif dan signifikan pada beberapa kelompok sampel, tetapi tidak signifikan pada seluruh spesifikasi. Sementara itu, (Zhan, Liao, Deng, Wang, & Yeh, 2025) memperlihatkan bahwa karakteristik penggunaan kendaraan dan pola pengisian daya berimplikasi terhadap beban jaringan listrik. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa dampak kendaraan listrik terhadap sistem kelistrikan perlu dianalisis dengan mempertimbangkan karakteristik pasar dan infrastruktur pengisian daya.

Kesenjangan berikutnya berkaitan dengan perbedaan variabel yang digunakan untuk merepresentasikan dampak kendaraan listrik. (Kucharski, Bartosiewicz, Gniadkowska, & Szymańska, 2025) mengkaji pengaruh harga energi, pendapatan, subsidi, dan infrastruktur pengisian terhadap registrasi kendaraan listrik di negara-negara Uni Eropa. (Guo et al., 2024) meneliti hubungan timbal balik antara penjualan kendaraan listrik dan pembangunan infrastruktur pengisian daya di 95 kota di Tiongkok. Sementara itu, penelitian (Nsan & Obi, 2025) mengintegrasikan kebijakan, infrastruktur, inovasi, dan kondisi ekonomi dalam analisis adopsi kendaraan listrik lintas negara. Meskipun memberikan bukti empiris mengenai faktor-faktor yang mendorong adopsi kendaraan listrik, penelitian-penelitian tersebut menggunakan adopsi atau penjualan kendaraan sebagai variabel terikat, sehingga belum secara langsung menjelaskan bagaimana infrastruktur dan faktor ekonomi berhubungan dengan permintaan listrik untuk pengisian kendaraan. Dalam konteks Indonesia, (Fathoni, Kesidou, Mufti, & Tiftazani, 2025) Fathoni et al. (2025) mengidentifikasi peran insentif, infrastruktur, biaya awal, dan kesadaran masyarakat dalam difusi kendaraan listrik. Sasongko et al. (2024) juga menunjukkan pentingnya keterkaitan antara konsumen, produsen, infrastruktur, dan kebijakan dalam ekosistem kendaraan listrik Indonesia.

Selain itu, aspek dinamika permintaan perlu mendapat perhatian. Permintaan listrik kendaraan listrik pada suatu periode berpotensi berkaitan dengan permintaan pada periode sebelumnya karena pertumbuhan penggunaan kendaraan dan pembangunan infrastruktur berlangsung secara bertahap. Penelitian terdahulu yang berfokus pada adopsi kendaraan, pola pengisian, atau hubungan antara penjualan kendaraan dan infrastruktur belum secara

bersamaan menjawab peran persistensi permintaan listrik, harga BBM, tarif listrik, PDRB per kapita, SPKLU, dan *home charging* dalam satu kerangka empiris untuk Indonesia. Oleh karena itu, penggunaan model panel dinamis dengan estimasi *Generalized Method of Moments* (GMM) menjadi pendekatan yang relevan untuk menguji hubungan tersebut, sepanjang spesifikasi model, validitas instrumen, dan asumsi estimasinya terpenuhi.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menganalisis pengaruh infrastruktur SPKLU, *home charging*, harga bahan bakar minyak, tarif listrik, dan PDRB per kapita terhadap permintaan listrik kendaraan listrik di Indonesia selama periode 2022–2025. Kontribusi penelitian terletak pada pengintegrasian faktor infrastruktur pengisian daya dan kondisi ekonomi serta harga energi dalam model panel dinamis dengan mempertimbangkan permintaan periode sebelumnya. Hasil penelitian diharapkan memperluas bukti empiris mengenai determinan permintaan listrik kendaraan listrik di Indonesia dan menyediakan dasar analitis bagi perencanaan infrastruktur pengisian daya serta pengelolaan sistem ketenagalistrikan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian berjudul "Dampak Adopsi Kendaraan Listrik terhadap Konsumsi Listrik di Indonesia" menjadi relevan dan penting karena: (i) secara kebijakan dan industri, Indonesia sedang memperluas ekosistem EV dan membutuhkan basis evidensial dampaknya pada permintaan listrik; (ii) secara akademik, terdapat kebutuhan estimasi empiris berbasis ekonometrika untuk mengisolasi pengaruh indikator adopsi EV dan infrastruktur pengisian dari determinan konsumsi listrik lain (misalnya pendapatan/aktivitas ekonomi, populasi, cuaca, dan kebijakan harga); serta (iii) secara perencanaan sistem, pertumbuhan EV berpotensi mengubah volume dan pola beban listrik.

LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS

Penelitian mengenai adopsi kendaraan listrik (*electric vehicle*/EV) dapat dijelaskan melalui empat perspektif teoretis, yaitu teori permintaan konsumen, teori konsumsi listrik, teori permintaan energi, dan teori infrastruktur energi. Teori permintaan konsumen menjelaskan bahwa keputusan pembelian dipengaruhi oleh harga, pendapatan, preferensi, dan kebijakan pemerintah. Berdasarkan hukum permintaan, kenaikan harga cenderung menurunkan jumlah barang yang diminta, sedangkan subsidi dan insentif dapat meningkatkan keterjangkauan serta mendorong adopsi kendaraan listrik (Mankiw, 2018; Setiawan, Zahari, Purba, Moeis, & Hidayatno, 2022).

Teori konsumsi listrik dan teori permintaan energi menekankan bahwa penggunaan energi dipengaruhi oleh harga, pendapatan, teknologi, efisiensi, dan kebijakan. Adopsi kendaraan listrik mengalihkan sebagian konsumsi energi dari bahan bakar fosil ke listrik sehingga berpotensi meningkatkan permintaan listrik, khususnya untuk pengisian daya (Ferdousee, 2022). Namun, peningkatan efisiensi teknologi dapat menekan kebutuhan energi per unit aktivitas, sehingga dampak akhirnya bergantung pada tingkat adopsi dan pola penggunaan kendaraan listrik.

Sementara itu, teori infrastruktur energi menegaskan pentingnya kapasitas pembangkit, jaringan transmisi dan distribusi, fasilitas pengisian daya, serta penyimpanan energi dalam memenuhi peningkatan permintaan. Ketersediaan infrastruktur pengisian daya yang memadai dapat mendukung adopsi kendaraan listrik dan memperluas akses konsumen terhadap energi

listrik. Dengan demikian, hubungan antara adopsi kendaraan listrik dan konsumsi listrik perlu dipahami sebagai interaksi antara perilaku konsumen, kondisi ekonomi, perkembangan teknologi, kebijakan pemerintah, dan kesiapan infrastruktur energi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif. (Gujarati & Porter, 2012) menjelaskan bahwa pendekatan kuantitatif menitikberatkan pada proses pengumpulan serta pengolahan data yang dinyatakan dalam bentuk numerik, dengan tujuan menguji hipotesis maupun menjawab permasalahan penelitian yang telah dirumuskan. Penelitian ini menggunakan data panel dengan jenis data sekunder. Menurut (Pesaran, 2015) data panel adalah data yang menggabungkan dimensi waktu dan dimensi individu sehingga memungkinkan analisis dinamika perilaku antar unit secara lebih komprehensif. (Baltagi, 2021) menyatakan bahwa data panel adalah sekumpulan data yang terdiri atas beberapa unit *cross-section* yang diamati pada lebih dari satu periode waktu, yang memberikan informasi lebih banyak, variabilitas lebih besar, serta efisiensi estimasi yang lebih baik dibandingkan data time series atau *cross-section* saja. Penelitian ini menggunakan data tahunan bentuk kerat lintang yang diperoleh dari berbagai sumber publikasi seperti Badan Pusat Statistik (BPS), website pertamina, dan PLN Group. Periode data yang dianalisis mencakup tahun 2022 hingga 2025 per triwulan meliputi wilayah di Jawa. Pemilihan periode ini didasarkan pada pertimbangan ketersediaan dan keseragaman format data.

Untuk menjaga konsistensi skala dan memudahkan interpretasi koefisien sebagai elastisitas, sebagian besar variabel kuantitatif dalam penelitian ini akan digunakan dalam bentuk log natural. Bentuk log natural yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

ln kWh : log natural permintaan kWh kendaraan listrik (kWh)
ln $TarifListrik$: log natural tarif listrik EV
ln $HargaBBM$: log natural harga BBM
ln $PDRB\ /kapita$: log natural PDRB per kapita
ln $infra$: log natural infrastruktur SPKLU dan *home charging*

Menurut teori dari Mankiw (2021) persamaan Qd = f(Px, Py, I, Pref, E) dapat direlevankan secara langsung untuk menganalisis permintaan energi listrik (kWh) kendaraan listrik dengan memetakan setiap variabel ekonomi ke variable yang diteliti. Berikut bentuk persamaan permintaan kWh kendaraan listrik yang merelevankan variabel-variabel tersebut:

$$\ln kWh_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln kWh_{i(t-1)} + \beta_2 \ln(TarifListrik_{it}) + \beta_3 \ln(HargaBBM_{it}) + \beta_4 \ln(PDRB\ K_{it}) + \beta_5 \ln(Infra_{it}) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Keterangan:
kWh : permintaan kWh kendaraan listrik
$kWh_{i(t-1)}$: beda kala (*lag)* dari permintaan kWh kendaraan listrik
TarifListrik : Tarif listrik untuk kendaraan listrik
HargaBBM : Harga BBM (sebagai barang substitusi)
PDRBK : PDRB Per Kapita
Infra : Infrastruktur jumlah SPKLU dan *home charging*
ln : logaritma natural
β0 : Konstanta
β1-5 : Koefisien garis regresi
t : tahun (2022-2025)

i : kelompok propinsi di Indonesia

Penggunaan tranformasi logaritma pada seluruh variabel dalam model untuk mengatasi distribusi data dan heteroskedastisitas yang sering dijumpai dalam data panel lintas propinsi, sehingga model bersifat *log* kiri dan log kanan.

Teknik analisis utama yang digunakan adalah model regresi panel dua arah (*Two-Way Fixed Effects*). Model ini digunakan untuk menganalisis hubungan antara adopsi kendaraan listrik (EV) dan konsumsi listrik dengan mengontrol variasi antara provinsi dan tahun. Model fixed effects digunakan untuk mengontrol heterogenitas yang tidak dapat diamati antarprovinsi dan antarwaktu. Model regresi panel ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan berikut:

$$\ln(\text{Konsumsi Listrik}_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(\text{EV}_{it}) + \beta_2 \cdot \ln(\text{SPKLU}_{it}) + \beta_3 \cdot \text{Kebijakan Pemerintah}_{it} + \beta_4 \cdot \ln(\text{PDRB}_{it}) + \beta_5 \cdot \ln(\text{Populasi}_{it}) + \beta_6 \cdot \text{Pendidikan}_{it} + \beta_7 \cdot \text{Gender}_{it} + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{it}$$

Dimana:

$\text{KonsumsiListrik}_{it}$ = Konsumsi listrik pada provinsi $i$dan tahun t
EV_{it} = Adopsi kendaraan listrik pada provinsi $i$dan tahun t
SPKLU_{it} = Infrastruktur pengisian daya pada provinsi $i$dan tahun t
$\text{KebijakanPemerintah}_{it}$ = Kebijakan pemerintah pada provinsi $i$dan tahun t
PDRB_{it} = PDRB pada provinsi $i$dan tahun t
Populasi_{it} = Jumlah populasi pada provinsi $i$dan tahun t
Pendidikan_{it} = Nilai indeks pendidikan pada provinsi $i$dan tahun t
Gender_{it} = Nilai indeks gender pada provinsi $i$dan tahun t
μ_i = Efek tetap antarprovinsi
λ_t = Efek tetap antarwaktu
ϵ_{it} = Error term

Persamaan ini digunakan untuk mengestimasi pengaruh dari variabel-variabel independen terhadap konsumsi listrik, dengan mengontrol variabilitas antarprovinsi dan antar tahun. Model ini akan menguji apakah adopsi kendaraan listrik, infrastruktur pengisian daya, kebijakan pemerintah, dan harga listrik berpengaruh signifikan terhadap konsumsi listrik.

Penelitian ini menggunakan analisis regresi data panel dinamis dengan metode *Generalized Method of Moments* (GMM) yang merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengestimasi parameter. Analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program Stata 17.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif dalam penelitian ini digunakan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai karakteristik data dan perilaku variabel penelitian yang diamati pada tingkat provinsi di Indonesia. Berbeda dengan pendekatan berbasis responden individu, penelitian ini menggunakan unit analisis agregat (provinsi), sehingga analisis deskriptif difokuskan pada distribusi, tren, serta variasi antar wilayah dan waktu dari setiap variabel, yaitu kendaraan listrik, SPKLU, konsumsi listrik, indeks kebijakan pemerintah, PDRB, populasi, pendidikan, dan gender. Dengan menggunakan data panel antar provinsi di Indonesia periode 2020–2024, statistik deskriptif menjadi langkah awal yang krusial untuk mengidentifikasi struktur data, mendeteksi potensi anomali, serta memahami konteks empiris sebelum dilakukan estimasi ekonometrika.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Variabel Penelitian

Variable	*Obs*	*Mean*	*Std.Dev*	*Min*	*Max*
ln_listrik	190	8.319811	1.191822	6.547875	11.30761
ln_ev	190	6.193476	1.94774	2.302585	11.42773
ln_spklu	190	1.775721	1.530893	0	6.71174
ln_pdrb	190	4.033693	.4589134	3.152736	5.78321
ln_pop	190	8.240914	1.085397	6.259582	10.81477
pendidikan	190	9.166526	.777449	7.42	11.73
gender	190	91.79116	1.318897	88.96	95.96
policy	190	5.625711	72.52141	.11	1000

Sumber: Data diolah, 2026

Secara keseluruhan, hasil statistik deskriptif menunjukkan bahwa variabel utama dalam penelitian ini, yaitu kendaraan listrik dan SPKLU, memiliki tingkat variasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan variabel struktural seperti PDRB dan populasi. Hal ini mengindikasikan bahwa proses transisi menuju kendaraan listrik di Indonesia masih bersifat tidak merata dan sangat dipengaruhi oleh faktor regional. Sementara itu, konsumsi listrik sebagai variabel dependen menunjukkan distribusi yang lebih stabil, yang menegaskan bahwa faktor ekonomi makro masih menjadi determinan utama dalam permintaan listrik.

Hasil Estimasi

Bagian ini menyajikan hasil estimasi empiris untuk menganalisis pengaruh adopsi kendaraan listrik, infrastruktur SPKLU, dan kebijakan pemerintah terhadap konsumsi listrik di Indonesia. Estimasi dilakukan menggunakan model data panel dengan pendekatan Fixed Effects (FE) yang telah disesuaikan dengan robust standard errors untuk mengatasi potensi pelanggaran asumsi klasik seperti heteroskedastisitas dan autokorelasi. Secara umum, hasil estimasi menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan penjelasan yang sangat baik, dengan nilai koefisien determinasi (R^2 *within*) yang tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi konsumsi listrik antar waktu dalam suatu provinsi dapat dijelaskan secara signifikan oleh variabel-variabel yang digunakan dalam model, khususnya kendaraan listrik,

Matriks Korelasi

Analisis korelasi dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan awal antar variabel dalam penelitian sebelum dilakukan estimasi model regresi. Matriks korelasi memberikan gambaran mengenai arah dan kekuatan hubungan linear antar variabel, serta potensi adanya masalah multikolinearitas.

Tabel 3. Matriks Korelasi

Variabel	**ln_listrik**	**ln_ev**	**ln_spklu**	**ln_pdrb**	**ln_pop**	**policy**
ln_listrik	1.000					
ln_ev	0.6393	1.000				
ln_spklu	0.7240	0.8330	1.000			
ln_pdrb	0.4222	0.3396	0.2956	1.000		
ln_pop	0.8973	0.5091	0.6051	0.0865	1.000	
policy	0.1542	0.1983	0.2154	0.2787	0.0710	1.000

Sumber: Data diolah, 2026

Secara keseluruhan, hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa variabel utama penelitian memiliki hubungan positif dengan konsumsi listrik, dengan kekuatan hubungan yang bervariasi. Namun, korelasi yang tinggi antar beberapa variabel independen juga mengindikasikan perlunya pengujian lanjutan terhadap multikolinearitas. Selain itu, perlu ditekankan bahwa analisis korelasi hanya menunjukkan hubungan asosiasi dan tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan hubungan kausal, sehingga diperlukan analisis regresi lebih lanjut untuk menguji pengaruh masing-masing variabel secara parsial.

Uji Multikolinearitas

Secara keseluruhan, hasil uji multikolinearitas menunjukkan bahwa model tidak mengalami permasalahan serius pada variabel utama, sehingga layak untuk digunakan dalam analisis regresi selanjutnya.

Tabel 4. Hasil Uji Multikolinearitas (VIF)

Variabel	VIF	1/VIF
gender	28.96	0.034526
pendidikan	26.79	0.037330
ln_spklu	4.10	0.243638
ln_ev	3.88	0.257525
ln_pdrb	2.00	0.501076
ln_pop	1.72	0.581732
policy	1.12	0.892938
Mean VIF	9.80	

Sumber: Data diolah, 2026

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai VIF yang bervariasi antar variabel. Variabel utama penelitian menunjukkan nilai VIF yang relatif rendah dan masih dalam batas yang dapat diterima. Variabel ln_spklu memiliki VIF sebesar 4.10, ln_ev sebesar 3.88, ln_pdrb sebesar 2.00, ln_pop sebesar 1.72, dan policy sebesar 1.12. Nilai-nilai ini berada di bawah ambang batas kritis, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat masalah multikolinearitas yang serius pada variabel utama penelitian.

Sebaliknya Variabel gender memiliki nilai VIF sebesar 28.96, dan variabel pendidikan sebesar 26.79, yang keduanya jauh melebihi batas umum (VIF > 10). Hal ini menunjukkan adanya multikolinearitas yang sangat tinggi pada kedua variabel tersebut. Secara empiris, kondisi ini mengindikasikan bahwa variabel pendidikan dan gender memiliki korelasi yang kuat dengan variabel independen lainnya, sehingga mengandung informasi yang saling tumpang tindih dalam model.

Nilai mean VIF sebesar 9.80 menunjukkan bahwa secara agregat model berada pada batas moderat, namun kondisi ini terutama dipengaruhi oleh tingginya VIF pada variabel pendidikan dan gender. Dengan demikian, sumber utama multikolinearitas dalam model berasal dari variabel kontrol, bukan dari variabel utama yang menjadi fokus penelitian.

Secara metodologis, keberadaan multikolinearitas yang tinggi pada variabel pendidikan dan gender berpotensi mengganggu stabilitas model serta mengurangi presisi estimasi. Oleh karena itu, dalam analisis lanjutan, kedua variabel tersebut perlu dipertimbangkan untuk dieliminasi atau tidak dijadikan fokus utama dalam interpretasi hasil. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa estimasi koefisien variabel utama, yaitu kendaraan listrik, SPKLU, dan kebijakan pemerintah, tetap konsisten dan dapat diinterpretasikan secara reliabel. Secara

keseluruhan, hasil uji multikolinearitas menunjukkan bahwa model tidak mengalami permasalahan serius pada variabel utama, sehingga layak untuk digunakan dalam analisis regresi selanjutnya.

Hasil Estimasi Model Fixed Effects

Estimasi model utama dalam penelitian ini menggunakan pendekatan *Fixed Effects* (FE) dengan robust standard errors yang diklaster pada tingkat provinsi. Pemilihan model ini bertujuan untuk mengontrol heterogenitas tidak teramati antar provinsi yang bersifat tetap (time-invariant), sehingga estimasi yang dihasilkan lebih konsisten dan tidak bias.

Tabel 5. Hasil Estimasi Model Fixed Effects

Variabel	Koefisien	Std. Error	t-stat	Prob.	95% CI (Lower)	95% CI (Upper)
ln_ev	0.0374775	0.0214588	1.75	0.089	-0.006002	0.0809571
ln_spklu	0.0338449	0.0163581	2.07	0.046	0.0007002	0.0669895
policy	-0.000086	0.0000206	-4.20	0.000	-0.000128	-0.000044
ln_pdrb	1.868.299	1.276.354	1.46	0.152	-0.71784	4.454.438
ln_pop	4.973.609	495.616	1.00	0.322	-5.068.525	1.501.574
pendidikan	-0.027952	1.126.798	-0.02	0.980	-7.794.753	2.255.158
gender	2.464.873	299.725	0.88	0.416	-1.032.733	8.537.878

Sumber: Data diolah, 2026

Secara keseluruhan, hasil estimasi menunjukkan bahwa konsumsi listrik di Indonesia lebih dipengaruhi oleh faktor infrastruktur dibandingkan oleh jumlah kendaraan listrik itu sendiri. Selain itu, kebijakan pemerintah belum menunjukkan efektivitas dalam meningkatkan konsumsi listrik secara langsung. Temuan ini mengindikasikan bahwa hubungan antara kendaraan listrik dan konsumsi listrik bersifat tidak langsung dan sangat bergantung pada kesiapan infrastruktur serta dinamika implementasi kebijakan. Selain itu, pola distribusi SPKLU yang terkonsentrasi juga menunjukkan bahwa akses terhadap infrastruktur pengisian masih bersifat tidak merata. Kondisi ini berimplikasi langsung terhadap konsumsi listrik, karena wilayah dengan ketersediaan SPKLU yang lebih tinggi cenderung memiliki intensitas penggunaan kendaraan listrik yang lebih besar, sehingga meningkatkan permintaan listrik secara lokal. Sebaliknya, wilayah dengan keterbatasan SPKLU akan mengalami hambatan dalam adopsi kendaraan listrik, yang pada akhirnya membatasi kontribusinya terhadap konsumsi listrik. Dengan demikian, data ini menunjukkan bahwa pengembangan SPKLU di Indonesia telah mengalami kemajuan signifikan, namun masih menghadapi tantangan dalam hal pemerataan dan kecepatan ekspansi. Ketimpangan ini menegaskan bahwa infrastruktur merupakan faktor kunci dalam ekosistem kendaraan listrik, sekaligus variabel penting yang harus diperhitungkan dalam analisis empiris mengenai dampak kendaraan listrik terhadap konsumsi listrik di Indonesia.

Uji Robustness (Tanpa Variabel Kebijakan)

Uji robustness dilakukan untuk menguji kestabilan dan konsistensi hasil estimasi model utama dengan cara mengeluarkan salah satu variabel, yaitu variabel kebijakan pemerintah (policy). Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil estimasi tidak bergantung pada satu variabel tertentu, serta untuk mengidentifikasi apakah variabel utama tetap memberikan pengaruh yang konsisten terhadap konsumsi listrik.

Tabel 6. Hasil Uji Robustness (Tanpa Variabel Kebijakan)

Variabel	Koefisien	Robust Std.Error	t-stat	Prob.	95% CI (Lower)	95% CI (Upper)
ln_ev	0.0368657	0.0214966	1.71	0.095	-0.0066906	0.0804219
ln_spklu	0.0357229	0.0159683	2.24	0.031	0.003368	0.0680777
ln_pdrb	1.893.485	1.278.983	1.48	0.147	-0.6979805	4.484.951
ln_pop	6.190.512	4.783.801	1.29	0.204	-350.239	1.588.341
pendidikan	-0.077567	1.132.447	-0.07	0.946	-2.372.124	2.216.989
gender	2.353.365	3.004.088	0.78	0.438	-3.733.496	8.440.226

Sumber: Data diolah, 2026

Secara keseluruhan, hasil uji robustness menunjukkan bahwa model estimasi bersifat stabil dan konsisten. Variabel kendaraan listrik dan SPKLU tetap menunjukkan arah dan tingkat signifikansi yang serupa dengan model utama, meskipun variabel kebijakan dikeluarkan. Hal ini mengindikasikan bahwa hubungan antara kendaraan listrik, infrastruktur, dan konsumsi listrik tidak bergantung pada variabel kebijakan dalam jangka pendek. Temuan ini juga memperkuat kesimpulan bahwa infrastruktur SPKLU merupakan faktor yang paling konsisten dan dominan dalam memengaruhi konsumsi listrik, sementara pengaruh kendaraan listrik masih relatif terbatas. Dengan demikian, hasil uji robustness memberikan validasi tambahan bahwa model yang digunakan dalam penelitian memiliki tingkat reliabilitas tinggi dan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Hasil Estimasi Model Dinamis

Untuk menangkap dinamika konsumsi listrik yang bersifat intertemporal, penelitian ini mengestimasi model dinamis dengan memasukkan variabel lag dari konsumsi listrik (L.ln_listrik) ke dalam model *Fixed Effects*. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi apakah konsumsi listrik pada periode sebelumnya memengaruhi konsumsi listrik pada periode saat ini, serta untuk menguji apakah pengaruh variabel utama bersifat jangka pendek atau jangka menengah.

Tabel 7. Hasil Estimasi Model Dinamis

Variabel	Koefisien	Std. Error	t-stat	Prob.	95% CI (Lower)	95% CI (Upper)
L.ln_listrik	0.8703403	0.1149406	7.57	0.000	0.6374486	1.103232
ln_ev	0.0262429	0.0108215	2.43	0.020	0.0043165	0.0481693
ln_spklu	0.0608789	0.0155275	3.92	0.000	0.0294172	0.0923407
policy	-0.000140	0.0000153	-9.19	0.000	-0.0001711	-0.0001093
ln_pdrb	-0.691375	0.3902784	-1.77	0.085	-1.482155	0.0994035
ln_pop	2.514826	1.9784	1.27	0.212	-1.439794	6.523446

Sumber: Data diolah, 2026

Secara keseluruhan, hasil model dinamis menunjukkan bahwa konsumsi listrik di Indonesia sangat dipengaruhi oleh kondisi masa lalu (persistensi), serta oleh faktor infrastruktur dan adopsi kendaraan listrik dalam jangka menengah. Temuan ini memperkuat kesimpulan bahwa dampak kendaraan listrik terhadap konsumsi listrik tidak bersifat instan, melainkan memerlukan waktu dan sangat bergantung pada kesiapan infrastruktur serta efektivitas kebijakan yang mendukung.

Uji Heteroskedastisitas

Dalam penelitian ini, uji heteroskedastisitas dilakukan menggunakan *Modified Wald Test for Groupwise Heteroskedasticity* pada model *fixed effects*. Uji ini bertujuan untuk mendeteksi apakah terdapat perbedaan varians error antar unit *cross-section* (provinsi).

Tabel 8. Hasil Uji Heteroskedastisitas

Jenis Uji	Metode Pengujian	Nilai Statistik	Probabilitas	Kesimpulan
Heteroskedastisitas	Modified Wald Test (xttest3)	Chi-square sebesar 1439.36	Prob > chi^2 = 0.000	Tidak dapat diuji langsung

Sumber: Data diolah, 2026

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai Chi-square sebesar 1439.36 dengan nilai probabilitas Prob > chi^2 = 0.000. Nilai probabilitas yang lebih kecil dari tingkat signifikansi (α = 0,05) mengindikasikan bahwa hipotesis nol yang menyatakan tidak adanya heteroskedastisitas ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model regresi mengalami heteroskedastisitas, yang berarti varians error tidak konstan antar provinsi. Kondisi ini umum terjadi pada data panel yang mencakup unit observasi dengan karakteristik yang heterogen, seperti perbedaan tingkat pembangunan ekonomi, struktur industri, dan kapasitas infrastruktur antar wilayah.

Uji Autokorelasi

Dalam penelitian ini, uji autokorelasi dilakukan menggunakan *Wooldridge Test for Autocorrelation in Panel Data*, yang merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam analisis data panel karena memiliki sifat yang robust terhadap heteroskedastisitas.

Tabel 9. Hasil Uji Autokorelasi

Jenis Uji	Metode Pengujian	Nilai Statistik	Probabilitas	Kesimpulan
Autokorelasi	Wooldridge Test (Panel Data)	F(1,37) = 126.279	0.0000	Terjadi autokorelasi

Sumber: Data diolah, 2026

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai statistik F sebesar 126.279 dengan nilai probabilitas Prob > F = 0.000. Nilai probabilitas yang lebih kecil dari tingkat signifikansi (α = 0,05) mengindikasikan bahwa hipotesis nol yang menyatakan tidak adanya autokorelasi ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model regresi mengalami autokorelasi, yang berarti terdapat korelasi serial dalam error term antar periode waktu pada unit yang sama. Kondisi ini menunjukkan bahwa shock atau gangguan pada konsumsi listrik di suatu periode cenderung berlanjut atau memengaruhi periode berikutnya. Fenomena ini konsisten dengan karakteristik konsumsi energi yang bersifat persisten (path dependency), di mana pola konsumsi masa lalu memengaruhi pola konsumsi saat ini.

Pembahasan

Pengaruh Kendaraan Listrik terhadap Konsumsi Listrik

Hasil estimasi model data panel dengan pendekatan *fixed effects* menunjukkan bahwa variabel kendaraan listrik memiliki koefisien positif sebesar 0,0375 dan signifikan pada tingkat

10 persen. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan adopsi kendaraan listrik berasosiasi dengan peningkatan konsumsi listrik di Indonesia. Secara elastisitas, hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan 1 persen kendaraan listrik berkorelasi dengan kenaikan konsumsi listrik sekitar 0,037 persen, ceteris paribus. Meskipun besaran efek relatif moderat, arah hubungan yang konsisten memberikan bukti empiris awal mengenai pergeseran struktur permintaan energi menuju elektrifikasi.

Secara konseptual, temuan ini selaras dengan literatur mutakhir yang menempatkan kendaraan listrik sebagai sumber permintaan listrik baru dalam sistem energi. Studi oleh (IEA, 2023) serta analisis empiris oleh (Li, Chowdhury, & Bhavsar, 2025) menunjukkan bahwa peningkatan penetrasi kendaraan listrik secara sistematis meningkatkan beban listrik, terutama melalui pengisian daya domestik dan publik. Dalam kerangka transisi energi, fenomena ini merepresentasikan substitusi dari konsumsi bahan bakar fosil ke energi listrik, yang merupakan komponen utama strategi dekarbonisasi sektor transportasi (Sovacool, Turnheim, Hook, Brock, & Martiskainen, 2021).

Namun demikian, signifikansi statistik yang terbatas pada level 10 persen

Ketiga, terdapat potensi *endogeneity* yang perlu dipertimbangkan secara serius. Adopsi kendaraan listrik dan konsumsi listrik kemungkinan bersifat simultan, di mana wilayah dengan akses listrik yang lebih baik cenderung memiliki tingkat adopsi kendaraan listrik yang lebih tinggi. Tanpa kontrol terhadap mekanisme ini, estimasi berpotensi mengalami *simultaneity bias*. Studi terkini menekankan pentingnya penggunaan pendekatan *instrumental variables* atau *dynamic panel GMM* untuk mengidentifikasi efek kausal yang lebih kredibel dalam konteks elektrifikasi transportasi (Guo et al., 2024).

Meskipun demikian, hasil model dinamis dalam penelitian ini memberikan bukti yang lebih kuat. Ketika memasukkan komponen lag konsumsi listrik, variabel kendaraan listrik menunjukkan pengaruh positif dan signifikan pada tingkat 5 persen dengan koefisien sebesar 0,0262. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kendaraan listrik terhadap konsumsi listrik bersifat persisten dan semakin kuat dalam jangka menengah hingga panjang. Temuan ini konsisten dengan literatur yang menyatakan bahwa dampak elektrifikasi transportasi terhadap sistem energi tidak terjadi secara instan, melainkan melalui proses akumulasi dan penyesuaian infrastruktur (IEA, 2023).

Pengaruh Infrastruktur SPKLU terhadap Konsumsi Listrik

Hasil estimasi model fixed effects menunjukkan bahwa variabel infrastruktur pengisian kendaraan listrik (SPKLU) memiliki koefisien positif sebesar 0,0338 dan signifikan pada tingkat 5 persen. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan ketersediaan SPKLU secara empiris berasosiasi dengan peningkatan konsumsi listrik di Indonesia. Secara elastisitas, peningkatan 1 persen jumlah SPKLU berkorelasi dengan kenaikan konsumsi listrik sekitar 0,033 persen, ceteris paribus. Besaran ini relatif sebanding dengan pengaruh kendaraan listrik, namun menunjukkan tingkat signifikansi yang lebih kuat, yang mengindikasikan bahwa infrastruktur memiliki peran yang lebih stabil dalam menjelaskan variasi konsumsi listrik.

Secara ekonomi, hasil ini menegaskan bahwa SPKLU berfungsi sebagai enabling infrastructure dalam ekosistem kendaraan listrik. Keberadaan infrastruktur pengisian tidak hanya memfasilitasi penggunaan kendaraan listrik, tetapi juga secara langsung menciptakan aktivitas konsumsi listrik melalui proses pengisian daya. Dengan kata lain, SPKLU tidak sekadar variabel pendukung, melainkan merupakan kanal transmisi utama yang

menghubungkan adopsi kendaraan listrik dengan peningkatan permintaan listrik. Tanpa ketersediaan infrastruktur yang memadai, potensi peningkatan konsumsi listrik akibat kendaraan listrik tidak akan terealisasi secara optimal.

Namun demikian, interpretasi terhadap hubungan ini tidak dapat dilepaskan dari beberapa isu metodologis. Pertama, terdapat indikasi kuat adanya complementarity bias antara kendaraan listrik dan SPKLU, mengingat kedua variabel berkembang secara simultan dalam kerangka ekosistem yang saling bergantung. Korelasi yang tinggi antara keduanya (0,833) menunjukkan bahwa ekspansi SPKLU seringkali mengikuti pertumbuhan kendaraan listrik. Hal ini menimbulkan tantangan dalam mengidentifikasi efek kausal yang bersih, karena peningkatan konsumsi listrik dapat disebabkan oleh kombinasi keduanya, bukan SPKLU secara independen.

Kedua, terdapat potensi reverse causality, di mana wilayah dengan konsumsi listrik tinggi atau permintaan energi yang meningkat lebih cenderung mendapatkan investasi infrastruktur SPKLU. Dalam konteks ini, hubungan positif yang terobservasi dapat mencerminkan respons terhadap permintaan energi, bukan semata-mata penyebab peningkatan konsumsi listrik. Literatur terbaru menekankan bahwa tanpa strategi identifikasi yang kuat, seperti penggunaan variabel instrumental atau pendekatan kuasi-eksperimental, estimasi hubungan antara infrastruktur dan konsumsi energi rentan terhadap bias simultanitas (Guo et al., 2024).

Meskipun demikian, hasil model dinamis dalam penelitian ini memberikan bukti yang lebih kuat mengenai peran SPKLU. Koefisien SPKLU meningkat menjadi 0,0609 dan signifikan pada tingkat 1 persen, yang menunjukkan bahwa dalam jangka panjang, pengaruh infrastruktur pengisian terhadap konsumsi listrik menjadi lebih besar dan lebih stabil. Peningkatan koefisien ini mengindikasikan adanya efek akumulatif, di mana keberadaan SPKLU tidak hanya meningkatkan konsumsi listrik secara langsung, tetapi juga mempercepat adopsi kendaraan listrik dan intensitas penggunaannya dari waktu ke waktu.

Dari perspektif sistem energi, temuan ini memiliki implikasi penting. Pertama, pembangunan SPKLU berperan sebagai katalis dalam meningkatkan permintaan listrik, sehingga ekspansi infrastruktur harus diimbangi dengan peningkatan kapasitas pembangkit dan jaringan distribusi. Kedua, karena efeknya bersifat jangka panjang dan kumulatif, perencanaan infrastruktur pengisian harus mempertimbangkan proyeksi pertumbuhan kendaraan listrik dan potensi lonjakan beban listrik. Ketiga, integrasi kebijakan antara sektor transportasi dan energi menjadi krusial untuk memastikan bahwa pengembangan SPKLU tidak menimbulkan tekanan berlebih pada sistem kelistrikan.

Pengaruh Kebijakan Pemerintah terhadap Konsumsi Listrik

Hasil estimasi model fixed effects menunjukkan bahwa variabel kebijakan pemerintah memiliki koefisien negatif sebesar −0,0000866 dan signifikan pada tingkat 1 persen. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan intensitas kebijakan pemerintah justru berasosiasi dengan penurunan konsumsi listrik di Indonesia. Secara empiris, hasil ini bertolak belakang dengan hipotesis awal yang mengasumsikan bahwa kebijakan akan mendorong peningkatan konsumsi listrik melalui dukungan terhadap elektrifikasi.

Secara ekonomi, arah hubungan negatif tersebut lebih konsisten dengan kerangka kebijakan energi modern yang menekankan demand-side management dan efisiensi energi. Dalam banyak kasus, intervensi pemerintah di sektor energi tidak bertujuan untuk memaksimalkan konsumsi, melainkan mengoptimalkan penggunaan energi agar lebih efisien

dan berkelanjutan. Instrumen kebijakan seperti tarif progresif, program konservasi energi, standar efisiensi peralatan, serta kampanye penghematan listrik secara langsung menekan konsumsi listrik, terutama pada penggunaan yang bersifat non-produktif. Literatur empiris menunjukkan bahwa kebijakan efisiensi energi memiliki dampak signifikan dalam menurunkan intensitas konsumsi listrik tanpa mengorbankan output ekonomi (Sovacool et al., 2021).

Namun demikian, interpretasi terhadap variabel kebijakan dalam model ini memerlukan kehati-hatian metodologis yang lebih dalam. Pertama, terdapat kemungkinan bahwa variabel kebijakan bersifat endogen. Kebijakan seringkali tidak bersifat eksogen, melainkan respons terhadap kondisi konsumsi listrik yang sudah tinggi. Dengan demikian, hubungan negatif yang terobservasi dapat mencerminkan mekanisme reverse causality, di mana pemerintah memperketat kebijakan di wilayah dengan konsumsi listrik tinggi untuk menekan permintaan energi. Studi terbaru menekankan bahwa tanpa strategi identifikasi yang kuat, estimasi pengaruh kebijakan rentan terhadap bias simultanitas (Zhao, Li, Wang, & Fang, 2025).

Kedua, variabel kebijakan dalam penelitian ini berpotensi mengalami keterbatasan dalam representasi konseptual. Kebijakan energi bersifat multidimensional, mencakup insentif kendaraan listrik, regulasi tarif listrik, subsidi energi, serta kebijakan efisiensi. Agregasi berbagai jenis kebijakan ke dalam satu indikator tunggal dapat menyebabkan aggregation bias, sehingga koefisien yang diestimasi mencerminkan efek bersih dari kebijakan yang heterogen. Dalam konteks ini, efek negatif yang ditemukan kemungkinan didominasi oleh kebijakan yang bersifat restriktif (efisiensi dan pengendalian), bukan kebijakan yang mendorong elektrifikasi.

Ketiga, hasil model dinamis menunjukkan bahwa pengaruh negatif kebijakan tetap konsisten dan bahkan lebih kuat, dengan koefisien sebesar −0,0001402 dan signifikan pada tingkat 1 persen. Konsistensi ini mengindikasikan bahwa efek kebijakan bersifat persisten dalam jangka waktu yang lebih panjang. Hal ini dapat diinterpretasikan bahwa kebijakan energi tidak hanya memiliki dampak jangka pendek melalui perubahan perilaku konsumsi, tetapi juga membentuk pola konsumsi energi secara struktural melalui perubahan teknologi, preferensi, dan efisiensi sistem.

Dengan mempertimbangkan keseluruhan hasil empiris dan analisis teoritis, hipotesis H3 yang menyatakan bahwa kebijakan pemerintah berpengaruh positif terhadap konsumsi listrik tidak dapat diterima. Sebaliknya, penelitian ini menunjukkan bahwa kebijakan pemerintah memiliki pengaruh negatif dan signifikan terhadap konsumsi listrik. Temuan ini menegaskan bahwa arah kebijakan energi di Indonesia cenderung berorientasi pada efisiensi dan pengendalian konsumsi, bukan pada ekspansi permintaan listrik.

Meskipun demikian, secara metodologis, hasil ini belum dapat diinterpretasikan sebagai hubungan kausal yang definitif. Diperlukan pendekatan ekonometrika lanjutan, seperti instrumental variables atau policy shock analysis, untuk mengidentifikasi efek kebijakan secara lebih presisi. Selain itu, disaggregasi variabel kebijakan berdasarkan jenis intervensi akan menjadi langkah penting untuk memahami mekanisme spesifik yang mendasari hubungan antara kebijakan dan konsumsi listrik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kendaraan listrik memiliki pengaruh positif terhadap konsumsi listrik. Temuan ini mengonfirmasi bahwa peningkatan jumlah kendaraan listrik

berkontribusi terhadap peningkatan permintaan listrik sebagai akibat dari substitusi energi dari bahan bakar fosil menuju energi listrik. Kendaraan listrik, dalam hal ini, tidak hanya berperan sebagai inovasi teknologi, tetapi juga sebagai sumber permintaan baru dalam sistem kelistrikan. Namun demikian, pada model fixed effects, pengaruh kendaraan listrik hanya signifikan pada tingkat 10 persen, yang mengindikasikan bahwa dampaknya masih relatif terbatas dalam jangka pendek.

Infrastruktur Pengisian Kendaraan Listrik terbukti memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap konsumsi listrik, dengan tingkat signifikansi yang lebih kuat dibandingkan kendaraan listrik pada model tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan SPKLU merupakan faktor kunci yang memungkinkan realisasi peningkatan konsumsi listrik akibat adopsi kendaraan listrik. Tanpa infrastruktur pengisian yang memadai, peningkatan jumlah kendaraan listrik tidak akan secara efektif diterjemahkan menjadi peningkatan konsumsi listrik. Dengan demikian, SPKLU berfungsi sebagai enabling factor yang menjembatani hubungan antara teknologi kendaraan listrik dan permintaan energi listrik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebijakan pemerintah memiliki pengaruh negatif dan signifikan terhadap konsumsi listrik. Temuan ini bertolak belakang dengan hipotesis awal yang mengasumsikan bahwa kebijakan akan mendorong peningkatan konsumsi listrik. Sebaliknya, hasil empiris menunjukkan bahwa kebijakan pemerintah cenderung berfungsi sebagai instrumen pengendalian konsumsi energi. Hal ini dapat dijelaskan bahwa kebijakan energi di Indonesia tidak hanya berorientasi pada peningkatan penggunaan listrik, tetapi juga pada efisiensi dan konservasi energi. Kebijakan seperti pengaturan tarif listrik, program penghematan energi, serta regulasi penggunaan listrik berkontribusi dalam menekan konsumsi listrik, terutama pada penggunaan yang tidak produktif.

Penelitian selanjutnya juga dapat memperluas cakupan analisis dengan menggunakan data mikro (misalnya tingkat rumah tangga atau pengguna kendaraan listrik) untuk menangkap perilaku konsumsi listrik secara lebih spesifik. Pendekatan ini akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai bagaimana kendaraan listrik memengaruhi konsumsi energi pada tingkat individu.

DAFTAR PUSTAKA

Baltagi, B. H. (2021). Econometric Analysis of Panel Data _ Springer Nature Link. Cham: Springer.

Chen, Z., Carrel, A. L., Gore, C., & Shi, W. (2021). Environmental and economic impact of electric vehicle adoption in the U.S. Environmental Research Letters, 16(4), 045011. doi: https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe2d0

Fathoni, F., Kesidou, E., Mufti, M., & Tiftazani, A. (2025). Drivers and barriers of eco-innovation in electric vehicle diffusion: Evidence from Indonesia. Journal of Environmental Management, 389(September 2024), 126021. doi: 10.1016/j.jenvman.2025.126021

Ferdousee, A. (2022). Impact of electric vehicle adoption on electricity consumption and generation: evidence from California. International Journal of Energy Economics and Policy, 12(5), 101–110. doi: 10.32479/ijeep.13271.This

Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2012). Basic Econometrics Fifth Edition. New York, Amerika: The McGraw-Hill Companies.

Guo, J., Xu, B., Cao, Q., Liu, S., Gu, F., & Zhang, X. (2024). Unveiling the bidirectional link between electric vehicle sales and charging infrastructure: Evidence from 95 cities in China. IScience, 27(11), 111245. doi: 10.1016/j.isci.2024.111245

IEA. (2023). Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions. Paris: IEA.

Kucharski, A., Bartosiewicz, A., Gniadkowska, A., & Szymańska. (2025). The impact of electricity and fossil fuel prices on electric vehicle new registrations in the European Union - ScienceDirect. Energy Policy, 207(114842). doi: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114842

Li, Z., Chowdhury, M., & Bhavsar, P. (2025). Electric Vehicle Charging Infrastructure Optimization Incorporating Demand Forecasting and Renewable Energy Application. World Journal of Innovation and Modern Technology, 7(6), 0–9. doi: 10.20944/preprints202508.1268.v1

Mankiw, N. G. (2018). Principles of Economics HQ. Boston: Cengage Learning.

Nel, J., & Inglesi-lotz, R. (2025). The relationship between electric vehicle adoption and electricity consumption : Evidence from Europe. Utilities Policy, 96(April), 102032. doi: 10.1016/j.jup.2025.102032

Nsan, N., & Obi, C. (2025). Bridging Policy , Infrastructure , and Innovation : A Causal and Predictive Analysis of Electric Vehicle Integration Across Africa , China , and the EU. Sustainability, 17(12), 1–34. doi: https://www.mdpi.com/2071-1050/17/12/5449

Pesaran, M. H. (2015). Time Series and Panel Data Econometrics. Cham: Springer.

Pirmana, V., Alisjahbana, A. S., Yusuf, A. A., Hoekstra, R., & Tukker, A. (2023). Economic and environmental impact of electric vehicles production in Indonesia. Clean Technologies and Environmental Policy, 25(6), 1871–1885. doi: 10.1007/s10098-023-02475-6

Setiawan, A. D., Zahari, T. N., Purba, F. J., Moeis, A. O., & Hidayatno, A. (2022). Investigating policies on increasing the adoption of electric vehicles in Indonesia - ScienceDirect. Journal of Cleaner Production, 380(2), 135097. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.135097

Sovacool, B. K., Turnheim, B., Hook, A., Brock, A., & Martiskainen, M. (2021). Dispossessed by decarbonisation : Reducing vulnerability , injustice , and inequality in the lived experience of low-carbon pathways. World Development, 137, 105116. doi: 10.1016/j.worlddev.2020.105116

Zhan, W., Liao, Y., Deng, J., Wang, Z., & Yeh, S. (2025). Large-scale empirical study of electric vehicle usage patterns and charging infrastructure needs. Npj Sustainable Mobility and Transport, 2(9), 1–10. doi: https://doi.org/10.1038/s44333-024-00023-3

Zhao, X., Li, X., Wang, A., & Fang, J. (2025). The impact of energy prices on electric vehicle adoption : From a perspective of consumer expectations. Sustainable Futures, 9(September 2024), 100437. doi: 10.1016/j.sftr.2025.100437