

Pengaruh Distribusi Listrik terhadap Akses Listrik Rumah Tangga di Indonesia: Analisis Data Panel Provinsi

Nicholas Reynard Kusuma¹, Pamela Gilberta Muljadi², Shevane Evelyn Nadine P³,
Angelica Trifena Supriyanto⁴, Ferry Vincentius Ferdinand⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Pelita Harapan, Indonesia

E-mail: nicholas.1010107@gmail.com¹, pamelagilberta01@gmail.com²,
nadinepurnama2005@gmail.com³, trifenangel@gmail.com⁴, ferry.vincentius@uph.edu⁵

Article History:

Received: 29 Juni 2026

Revised: 22 Juli 2026

Accepted: 30 Juli 2026

Keywords: akses listrik;
elektrifikasi rumah tangga;
distribusi listrik; data panel;
kesenjangan antarprovinsi;
Indonesia.

Abstrak: Akses listrik rumah tangga merupakan indikator penting pembangunan infrastruktur dan kesejahteraan, tetapi peningkatan rasio elektrifikasi nasional belum sepenuhnya menghilangkan kesenjangan antarprovinsi di Indonesia. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh faktor sisi penawaran ketenagalistrikan, meliputi listrik yang didistribusikan, listrik yang dibangkitkan, dan kapasitas terpasang, terhadap persentase rumah tangga yang terhubung dengan jaringan PLN pada tingkat provinsi selama 2011–2024. Data sekunder dianalisis menggunakan regresi data panel dengan model two-way fixed effects. Hasil penelitian menunjukkan bahwa listrik yang didistribusikan berpengaruh negatif dan signifikan terhadap akses listrik rumah tangga, sedangkan listrik yang dibangkitkan dan kapasitas terpasang tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan volume pasokan listrik belum secara otomatis memperluas konektivitas rumah tangga, terutama ketika distribusi terkonsentrasi di wilayah dengan permintaan dan infrastruktur yang telah berkembang. Penelitian ini menegaskan bahwa pemerataan akses listrik memerlukan penguatan jaringan distribusi, perluasan konektivitas di wilayah tertinggal, dan kebijakan ketenagalistrikan yang lebih berbasis kesenjangan spasial.

PENDAHULUAN

Akses terhadap energi listrik merupakan prasyarat mendasar bagi pembangunan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Listrik tidak hanya mendorong aktivitas produktif di sektor industri dan komersial, tetapi juga meningkatkan kualitas hidup rumah tangga melalui penerangan, komunikasi, dan akses terhadap layanan dasar. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, penyediaan listrik yang merata menjadi salah satu target utama dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya pada Tujuan ke-7 tentang energi bersih dan terjangkau.

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau dan

populasi lebih dari 270 juta jiwa menghadapi tantangan unik dalam perluasan akses listrik. Meskipun tingkat elektrifikasi nasional telah meningkat signifikan dalam satu dekade terakhir, dari sekitar 72 persen pada tahun 2011 hingga mendekati 99 persen pada pertengahan dekade 2020-an, disparitas antarprovinsi masih menjadi persoalan yang belum sepenuhnya terselesaikan. Data Badan Pusat Statistik (Statistik, 2024) menunjukkan bahwa provinsi di kawasan timur Indonesia seperti Papua dan Nusa Tenggara umumnya masih memiliki rasio elektrifikasi di bawah rata-rata nasional, sedangkan provinsi di Pulau Jawa dan Sumatera telah mendekati cakupan penuh.

Berbagai studi terdahulu telah mengkaji determinan konsumsi dan akses listrik dari berbagai perspektif. (Julie Ann Basconcillo, 2023) menemukan bahwa PDRB per kapita dan rasio elektrifikasi berpengaruh positif terhadap konsumsi listrik rumah tangga di tingkat provinsi. (Alnavis, 2024) menunjukkan bahwa potensi energi terbarukan di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal dan keterbatasan infrastruktur distribusi masih menjadi hambatan utama dalam perluasan elektrifikasi. Namun demikian, sebagian besar studi tersebut lebih berfokus pada sisi permintaan atau menggunakan pendekatan agregat, sehingga belum secara memadai menjelaskan mekanisme sisi penawaran, khususnya terkait perbedaan peran kapasitas, pembangkitan, dan distribusi listrik dalam menentukan akses rumah tangga.

Penelitian ini berfokus pada tiga dimensi utama dalam sisi penawaran ketenagalistrikan, yaitu kapasitas terpasang pembangkit, listrik yang dibangkitkan, dan listrik yang didistribusikan kepada konsumen. Ketiga variabel ini mencerminkan tahapan yang berbeda dalam rantai pasokan listrik dan memiliki implikasi yang berbeda terhadap akses rumah tangga. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ketiga variabel tersebut terhadap persentase rumah tangga pengguna listrik PLN di tingkat provinsi di Indonesia, membandingkan model Fixed Effects dan Random Effects melalui uji Hausman, serta mengevaluasi kinerja prediktif model menggunakan data di luar sampel estimasi. Hipotesis utama yang diajukan adalah bahwa listrik yang didistribusikan memiliki pengaruh yang paling signifikan terhadap peningkatan akses listrik rumah tangga dibandingkan dengan variabel lainnya.

LANDASAN TEORI

Akses listrik rumah tangga merupakan indikator penting dalam pembangunan ekonomi dan sosial karena mendukung peningkatan kualitas hidup masyarakat. Tingkat elektrifikasi sering digunakan sebagai tolok ukur keberhasilan pembangunan infrastruktur, meskipun capaian yang tinggi tidak selalu mencerminkan pemerataan antarwilayah (IEA, 2023). Perluasan infrastruktur ketenagalistrikan menjadi faktor utama dalam peningkatan akses listrik, namun keterbatasan jaringan distribusi masih menjadi kendala dalam elektrifikasi tahap akhir. Dalam konteks Indonesia, meskipun rasio elektrifikasi telah melampaui 99 persen, masih terdapat rumah tangga yang belum memiliki akses listrik yang memadai (MENTARI, 2022).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa ketersediaan listrik di negara berkembang berkontribusi pada peningkatan capaian pendidikan, perbaikan kondisi kesehatan, serta peningkatan produktivitas dan pendapatan rumah tangga (J-PAL, 2023; Gashaye, Liu, & Li, 2025). Selain itu, penelitian yang menggunakan pendekatan variabel instrumental dalam konteks Indonesia menemukan bahwa akses listrik berpengaruh positif terhadap tingkat kebahagiaan rumah tangga, terutama melalui peningkatan kepuasan terhadap kondisi hunian (Nasrudin, Quarina, & Dartanto, 2022). Temuan ini memperkuat argumen bahwa infrastruktur listrik tidak hanya berfungsi sebagai prasyarat teknis, tetapi juga berkontribusi pada dimensi kesejahteraan yang lebih luas.

Dalam konteks Indonesia, data PT PLN (Persero) tahun 2023 menunjukkan bahwa Jakarta

dan Bali telah mencapai rasio elektrifikasi 100 persen, sementara wilayah pegunungan Papua mencatat rasio terendah sebesar sekitar 14,06 persen, dengan provinsi-provinsi di Jawa secara konsisten berada di atas rata-rata nasional (PT PLN (Persero), 2023). Pola ini mempertegas bahwa ketimpangan distribusi listrik antarprovinsi masih menjadi tantangan struktural yang belum terselesaikan.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas hubungan antara infrastruktur energi dan elektrifikasi, studi yang secara langsung menganalisis faktor penentu akses listrik rumah tangga pada tingkat provinsi di Indonesia dengan pendekatan data panel masih terbatas. Secara khusus, peran relatif dari listrik yang dibangkitkan, listrik yang didistribusikan, dan kapasitas terpasang dalam menentukan tingkat elektrifikasi belum banyak dieksplorasi.

METODE PENELITIAN

Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data statistik ketenagalistrikan tingkat provinsi yang dipublikasikan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (Kementerian ESDM) dan PT PLN (Persero), yang dihimpun dalam dataset Gabungan Data Ketenagalistrikan Provinsi 2011-2024. Data diambil dari lembar kerja Master_Long, yang menyajikan observasi tahunan tiap provinsi dalam format panel long. Cakupan data secara keseluruhan meliputi periode 2011 hingga 2024. Namun demikian, sebagaimana dijelaskan pada bagian berikutnya, tidak seluruh tahun dan provinsi digunakan dalam sampel akhir estimasi.

Variabel Penelitian

Variabel dependen dalam penelitian ini adalah persentase rumah tangga yang terhubung dengan jaringan listrik PLN (`persentase_rt_listrik_pln`). Variabel ini digunakan sebagai ukuran utama akses listrik rumah tangga pada tingkat provinsi, karena mencerminkan sejauh mana jaringan pasokan listrik formal telah menjangkau konsumen rumah tangga di masing-masing wilayah.

Penelitian ini menggunakan tiga variabel independen yang seluruhnya merepresentasikan kondisi sisi penawaran pada sektor ketenagalistrikan provinsi. Variabel pertama adalah listrik didistribusikan (`listrik_didistribusikan_gwh`), yang diukur dalam gigawatt-hour (GWh) dan menunjukkan total volume listrik yang benar-benar disalurkan kepada konsumen di suatu provinsi. Variabel kedua adalah listrik dibangkitkan (`listrik_dibangkitkan_gwh`), juga dalam satuan GWh, yang mencerminkan total produksi listrik di provinsi tersebut. Variabel ketiga adalah kapasitas terpasang (`kapasitas_terpasang_mw`), yang diukur dalam megawatt (MW), yaitu total kapasitas nominal pembangkit listrik yang beroperasi di provinsi terkait.

Ketiga variabel tersebut perlu dibedakan sejak awal. Pembangkitan dan distribusi menggambarkan besaran aliran, yakni berapa banyak listrik yang diproduksi dan berapa banyak yang benar-benar sampai ke pengguna. Sementara itu, kapasitas terpasang menggambarkan stok infrastruktur kelistrikan yang tersedia. Walaupun ketiganya diperkirakan saling berkaitan, masing-masing merepresentasikan dimensi yang berbeda dari perkembangan sektor listrik, sehingga seluruhnya dimasukkan ke dalam model.

Pembersihan Data dan Pembentukan Sampel

Sebelum digunakan dalam estimasi, data terlebih dahulu melalui beberapa tahap prapengolahan. Pertama, baris agregat Indonesia dihapus dari dataset. Baris ini merepresentasikan jumlah nasional, bukan observasi tingkat provinsi, sehingga apabila tetap disertakan akan

mengganggu statistik deskriptif maupun hasil regresi.

Kedua, entri yang tercatat dalam bentuk tanda strip ("-") pada variabel akses listrik rumah tangga diubah menjadi missing value (NA). Dalam file asli, tanda tersebut menunjukkan tidak tersedianya observasi yang valid, bukan nilai nol. Oleh karena itu, memperlakukannya sebagai nol akan menimbulkan kesalahan pengukuran.

Ketiga, seluruh observasi pada tahun 2016 dikeluarkan dari sampel. Pemeriksaan terhadap data mentah menunjukkan bahwa tahun tersebut memiliki proporsi missing value yang cukup besar pada beberapa variabel ketenagalistrikan di berbagai provinsi. Daripada melakukan imputasi yang justru menambah ketidakpastian, penelitian ini memilih untuk mengecualikan tahun tersebut sepenuhnya. Langkah ini sejalan dengan praktik umum dalam studi data panel ketika satu periode waktu mengalami persoalan kualitas data yang sistematis.

Keempat, lima provinsi dikeluarkan karena deret waktunya terlalu pendek untuk analisis panel. Kalimantan Utara resmi menjadi provinsi tersendiri pada tahun 2012 dan baru muncul dalam dataset mulai 2013, sehingga panjang serinya terbatas, terlebih dengan adanya celah data pada 2016. Selain itu, empat provinsi hasil pemekaran di Papua, yaitu Papua Barat Daya, Papua Selatan, Papua Tengah, dan Papua Pegunungan, baru terbentuk pada 2022 sehingga hanya memiliki dua sampai tiga tahun observasi. Apabila provinsi-provinsi tersebut tetap disertakan, panel akan menjadi sangat tidak seimbang dan kontribusinya terhadap estimasi variasi dalam-provinsi menjadi kurang bermakna.

Setelah seluruh tahapan tersebut dilakukan, dataset akhir mencakup 34 provinsi yang diamati selama 13 periode tahunan (2011-2024 dengan mengecualikan 2016), sehingga membentuk panel tidak seimbang yang digunakan dalam estimasi data latih, serta observasi tambahan pada data uji.

Model Regresi Panel

Kerangka analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi data panel, karena struktur datanya terdiri atas banyak provinsi yang diamati berulang kali sepanjang waktu. Spesifikasi dasar model dapat dituliskan sebagai berikut:

$$PRTL_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta_1 DIST_{it} + \beta_2 GEN_{it} + \beta_3 CAP_{it} + \epsilon_{it}$$

di mana PRTL adalah persentase rumah tangga pengguna listrik PLN di provinsi i pada tahun t ; DIST, GEN, dan CAP masing-masing merepresentasikan listrik didistribusikan, listrik dibangkitkan, dan kapasitas terpasang; α_i menunjukkan efek tetap provinsi; λ_t menunjukkan efek waktu; β_1 sampai β_3 adalah koefisien slope; dan ϵ_{it} adalah komponen galat.

Penelitian ini mengestimasi dan membandingkan dua spesifikasi. Spesifikasi pertama adalah model Fixed Effects (FE) dua arah, yang diestimasi menggunakan transformasi within melalui paket plm di R. Spesifikasi ini mengontrol karakteristik provinsi yang tidak berubah sepanjang waktu, seperti kondisi geografis, warisan infrastruktur, atau kapasitas administratif, sekaligus mengontrol guncangan bersama yang memengaruhi seluruh provinsi pada waktu yang sama, seperti perubahan kebijakan nasional atau kondisi makroekonomi. Spesifikasi kedua adalah model Random Effects (RE), yang mengasumsikan bahwa heterogenitas antarprovinsi tidak berkorelasi dengan variabel penjelas. Asumsi ini lebih kuat, tetapi memungkinkan model memasukkan intersep secara eksplisit.

Pemilihan antara kedua model tersebut dilakukan melalui uji Hausman. Hipotesis nol pada uji Hausman menyatakan bahwa efek individual tidak berkorelasi dengan variabel penjelas, sehingga model RE dapat dianggap konsisten. Jika hipotesis nol ditolak, maka model FE lebih tepat digunakan karena tetap konsisten meskipun efek provinsi berkorelasi dengan variabel independen.

Hasil uji Hausman menunjukkan nilai chi-square sebesar 99,22 dengan derajat kebebasan 3 dan p-value jauh di bawah 0,001, sehingga memberikan bukti yang kuat untuk menolak hipotesis nol. Dengan demikian, model Fixed Effects dipilih sebagai spesifikasi utama untuk inferensi dalam penelitian ini. Selain itu, penelitian ini juga menghitung robust standard errors tipe HC1 pada model FE sebagai pemeriksaan tambahan terhadap kemungkinan heteroskedastisitas.

Pembagian Data Latih dan Data Uji

Untuk menilai tidak hanya kecocokan model di dalam sampel, tetapi juga kemampuannya dalam melakukan prediksi di luar sampel, data dibagi menjadi dua bagian yang tidak saling tumpang tindih berdasarkan dimensi waktu. Observasi tahun 2011-2021 digunakan sebagai data latih, sedangkan observasi 2022-2024 digunakan sebagai data uji. Pembagian kronologis ini dipilih agar tidak terjadi data leakage, karena model hanya dilatih menggunakan informasi historis, sementara data uji benar-benar merepresentasikan periode yang belum pernah "dilihat" model sebelumnya.

Untuk menghasilkan prediksi pada data uji, digunakan spesifikasi OLS dengan fixed effects provinsi, yang secara substantif setara dengan estimator within, namun dinyatakan dalam bentuk regresi variabel dummy. Pendekatan ini memungkinkan model membawa efek spesifik provinsi yang dipelajari dari periode pelatihan ke periode pengujian, tanpa harus memaksakan dummy tahun 2022-2024 yang memang belum tersedia pada model yang dilatih hanya sampai 2021.

Metrik Evaluasi

Model performance on the test set is evaluated using four standard metrics. Root Mean Squared Error (RMSE) measures the average prediction error while assigning a greater penalty to larger deviations. Mean Absolute Error (MAE) captures the average absolute difference between predicted and actual values in the original unit of the dependent variable, namely percentage points. Meanwhile, the coefficient of determination (R^2) indicates the proportion of variation in the actual test values that can be explained by the model's predictions. All evaluation metrics are computed in R; RMSE and MAE are obtained using the caret package.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Statistik Deskriptif

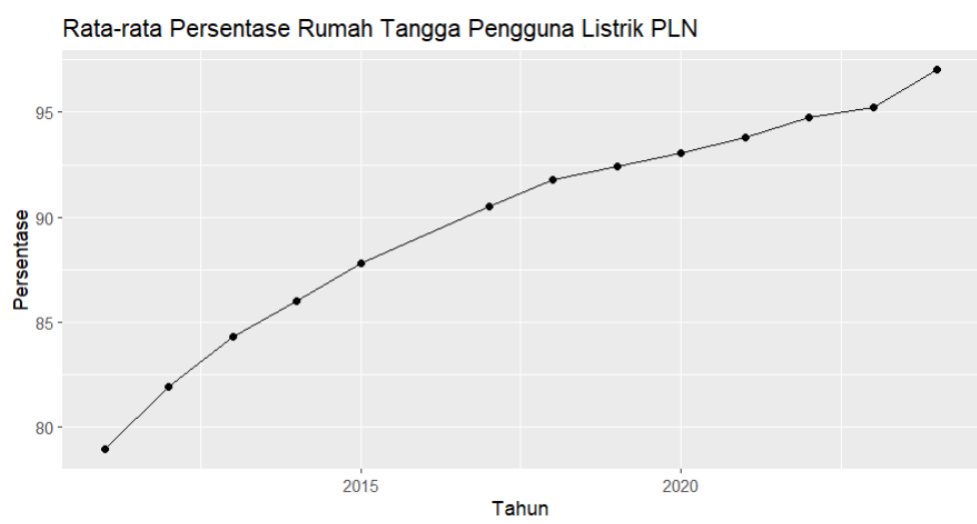
Analisis diawali dengan evaluasi statistik deskriptif untuk melihat distribusi data pada tiap variabel penelitian (Tabel 1). Secara umum, persentase akses listrik rumah tangga (PLN) menunjukkan rata-rata sebesar 89,88% dengan nilai tengah mencapai 95,20%. Meskipun mayoritas provinsi telah mencapai tingkat elektrifikasi yang tinggi, keberadaan nilai minimum sebesar 31,79% menunjukkan bahwa masih ada ketimpangan signifikan di beberapa wilayah. Sementara itu, variabel dari sisi penawaran (kapasitas terpasang, listrik dibangkitkan, dan didistribusikan) memiliki sebaran data yang sangat lebar dan condong ke kanan (asimetris positif). Hal ini mencerminkan adanya dominasi ketersediaan infrastruktur pada provinsi-provinsi besar di Pulau Jawa, sehingga pendekatan regresi data panel sangat diperlukan untuk mengendalikan heterogenitas tersebut.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Variabel Penelitian

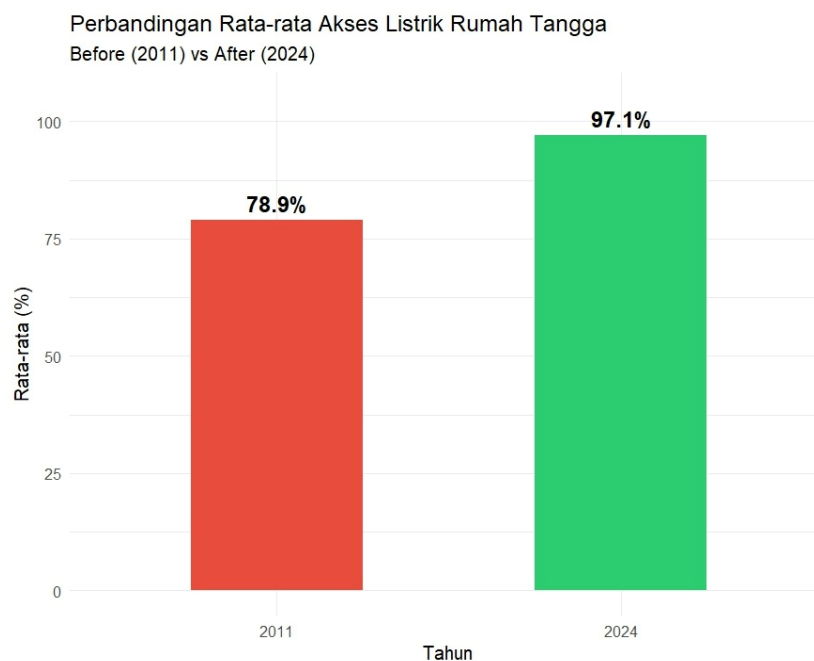
Statistik	% RT Listrik PLN	Distribusi (GWh)	Dibangkitkan (GWh)	Kap. Terpasang (MW)
Minimum	31,79	19,32	0,00	0,18
Q1 (25%)	85,73	720,64	303,70	157,88
Median	95,20	1.965,55	1.413,50	471,91

Rata-rata	89,88	6.268,88	7.342,90	1.832,27
Q3 (75%)	98,95	4.646,79	4.237,40	1.492,82
Maksimum	100,00	61.637,47	71.068,20	14.668,05

Secara agregat, tren elektrifikasi nasional mengalami peningkatan yang konsisten, naik dari 78,9% pada tahun 2011 menjadi 97,1% pada tahun 2024 (Gambar 1). Laju pertumbuhan terlihat paling masif di awal periode pengamatan, lalu perlahan melambat seiring mendekatnya rasio ke angka saturasi 100%. Meski capaian agregat terlihat impresif, perbandingan antarprovinsi (Gambar 2) membuktikan bahwa disparitas masih terjadi. Beberapa provinsi di wilayah timur Indonesia, seperti Papua dan Nusa Tenggara Timur, memang mencatatkan pertumbuhan positif, namun masih berjuang mengejar ketertinggalan. Pola ini mengonfirmasi bahwa kendala utama sektor ketenagalistrikan di Indonesia tidak hanya sebatas produksi energi, melainkan tantangan pemerataan distribusi ke daerah yang terisolasi.



Gambar 1. Tren Rata-rata Akses Listrik Rumah Tangga (2011-2024)



Gambar 2. Akses Listrik Rumah Tangga per Provinsi: Before (2011) vs After (2024)

Berdasarkan analisis bivariat, ketiga variabel sisi penawaran menunjukkan korelasi yang bernilai positif terhadap akses listrik rumah tangga. Peningkatan kapasitas dan volume energi secara umum sejalan dengan naiknya rasio elektrifikasi. Walaupun demikian, pemusatan titik data pada level tertentu kembali menegaskan bahwa pengujian pengaruh kausal yang lebih valid harus dianalisis menggunakan estimator panel demi mengeliminasi bias karakteristik antarprovinsi.

Pemilihan Model: Uji Hausman

Penelitian ini mengestimasi dua model panel, yaitu Fixed Effects (FE) dua arah dan Random Effects (RE), kemudian melakukan uji Hausman untuk menentukan mana yang lebih tepat. Pada model Random Effects, kapasitas terpasang menunjukkan pengaruh positif dan signifikan (koefisien = 0,001234, $p = 0,003$), sementara dua variabel lainnya tidak signifikan. Namun, asumsi bahwa efek provinsi tidak berkorelasi dengan variabel penjelas perlu diuji terlebih dahulu.

Hasil uji Hausman menghasilkan nilai chi-square sebesar 99,22 dengan derajat kebebasan 3 dan p-value jauh di bawah 0,001. Dengan demikian, hipotesis nol ditolak secara kuat, dan model Fixed Effects dipilih sebagai spesifikasi utama untuk inferensi karena tetap konsisten meskipun terdapat korelasi antara efek spesifik provinsi dan variabel independen.

Hasil Estimasi Fixed Effects Dua Arah

Tabel 2 menyajikan hasil estimasi model Fixed Effects dua arah yang menjadi model utama penelitian ini, mencakup 33 provinsi dengan total 322 observasi pada data latih (2011-2021). Estimasi model FE dua arah menunjukkan bahwa variabel listrik yang didistribusikan dan kapasitas terpasang memiliki pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap akses listrik rumah tangga (Tabel 2). Menariknya, kedua variabel tersebut memiliki koefisien negatif, masing-masing sebesar -0,000101 ($p = 0,026$) dan -0,000687 ($p = 0,011$). Sementara itu, variabel listrik yang dibangkitkan tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan.

Tabel 2. Hasil Estimasi Fixed Effects Dua Arah

Variabel	Koefisien	Std. Error	t-value	p-value
Listrik Didistribusikan (GWh)	-0,000101	0,0000453	-2,237	0,026 *
Listrik Dibangkitkan (GWh)	-0,0000496	0,0000494	-1,006	0,316
Kapasitas Terpasang (MW)	-0,000687	0,000268	-2,564	0,011 *

Keterangan: * signifikan pada $\alpha = 5\%$. Var. dependen: % RT Pengguna Listrik PLN. $N = 322$, R^2 within = 0,058, $F = 5,70$ ($p = 0.00084$)

Arah koefisien negatif ini tidak menunjukkan hubungan terbalik secara umum, melainkan mencerminkan dinamika variasi di dalam provinsi (within-province). Hal ini mengindikasikan bahwa pada provinsi yang sudah memiliki tingkat elektrifikasi tinggi atau mendekati titik jenuh (saturasi), penambahan kapasitas infrastruktur maupun volume distribusi yang besar tidak lagi memberikan peningkatan persentase akses secara proporsional. Dengan kata lain, pertumbuhan sisi penawaran di wilayah yang sudah maju cenderung lebih lambat dalam mendorong sisa cakupan akses dibandingkan dengan wilayah yang masih tertinggal. Hasil ini menegaskan bahwa faktor-faktor lain di luar indikator teknis ketenagalistrikan, seperti kondisi ekonomi rumah tangga dan kebijakan afirmatif pemerintah daerah, kemungkinan besar memegang peranan penting dalam menjangkau sisa populasi yang belum teraliri listrik.

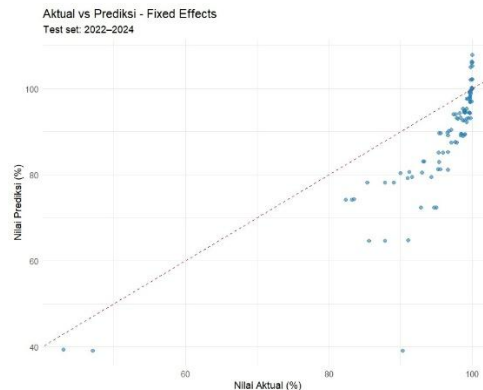
Evaluasi Kemampuan Prediksi Model

Relevansi model Fixed Effects lebih lanjut dievaluasi kemampuannya dalam melakukan prediksi di luar sampel pelatihannya (out-of-sample), yakni pada data uji periode 2022-2024. Berdasarkan metrik evaluasi (Tabel 3), model menghasilkan Root Mean Squared Error (RMSE) sebesar 10,27 dan Mean Absolute Error (MAE) sebesar 7,49 poin persentase. Di samping itu, nilai R^2 sebesar 0,661 mengindikasikan bahwa model yang dilatih menggunakan data historis hingga tahun 2021 ini mampu memprediksi dan menjelaskan 66,1% variasi akses listrik pada tiga tahun berikutnya tanpa adanya asupan informasi dari periode tersebut.

Tabel 3. Evaluasi Kinerja Model pada Data Uji (2022-2024)

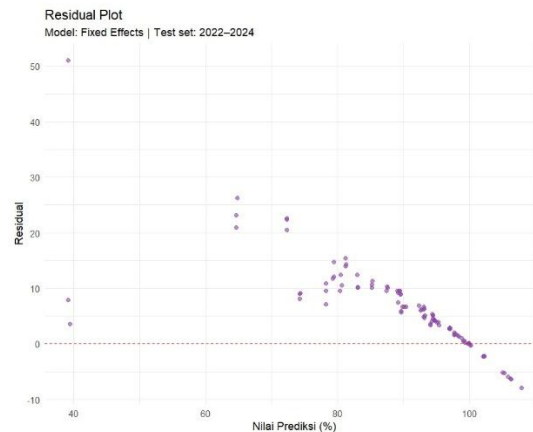
Model	RMSE	MAE	R^2
Fixed Effects	10,27	7,49	0,661

Keterangan: RMSE = Root Mean Squared Error; MAE = Mean Absolute Error; R^2 = koefisien determinasi pada data uji



Gambar 3. Plot Aktual vs Prediksi Fixed Effects — Data Uji 2022-2024

Gambar 3 memperlihatkan bahwa sebagian besar titik data berada di sekitar garis diagonal, yang menandakan prediksi model cukup mendekati nilai aktual. Namun terlihat bahwa untuk provinsi-provinsi dengan akses listrik sudah mendekati atau mencapai 100% (bagian kanan atas), model cenderung memberikan prediksi yang sedikit lebih rendah dari nilai aktual. Sebaliknya, untuk beberapa provinsi dengan akses yang masih rendah (bagian kiri bawah), prediksi model justru lebih tinggi dari kondisi nyatanya. Pola ini menunjukkan bahwa model sedikit kesulitan menangkap dinamika di kedua ujung distribusi akses listrik.



Gambar 4. Residual Plot Model Fixed Effects — Data Uji 2022-2024

Gambar 4 menunjukkan bahwa residual tidak tersebar secara acak di sekitar nol. Terlihat pola menurun yang cukup jelas, di mana residual cenderung positif (aktual lebih tinggi dari prediksi) untuk nilai prediksi di kisaran 60-90%, dan negatif (aktual lebih rendah dari prediksi) untuk nilai prediksi di atas 95%. Adanya pola sistematis ini mengindikasikan bahwa model mungkin belum sepenuhnya menangkap faktor-faktor yang mendorong elektrifikasi di luar variabel ketenagalistrikan yang tersedia. Faktor seperti kemampuan ekonomi rumah tangga, kepadatan penduduk, atau intensitas program kebijakan pemerintah daerah kemungkinan turut berkontribusi terhadap variasi akses yang belum terjelaskan oleh model. Meski demikian, keterbatasan ini bukan indikasi kegagalan analisis, melainkan petunjuk yang berguna untuk pengembangan model pada penelitian selanjutnya.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengkaji hubungan antara perkembangan sektor ketenagalistrikan pada tingkat provinsi dan tingkat akses listrik rumah tangga di Indonesia selama periode 2011 hingga 2024. Indikator ketenagalistrikan yang dianalisis mencakup besaran listrik yang didistribusikan, energi listrik yang dibangkitkan, serta total kapasitas terpasang. Melalui penerapan metode regresi data panel dan perbandingan antara spesifikasi Fixed Effects dan Random Effects, studi ini menyimpulkan bahwa model Fixed Effects merupakan pendekatan yang lebih presisi. Keputusan ini didukung secara kuat oleh hasil pengujian Hausman yang menolak asumsi dasar Random Effects dengan perolehan nilai chi kuadrat sebesar 99,22 dan tingkat signifikansi kurang dari 0,001.

Berdasarkan estimasi statistik dari model Fixed Effects, diketahui bahwa volume listrik yang didistribusikan dan kapasitas terpasang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap persentase rumah tangga pengguna listrik PLN, dengan catatan bahwa karakteristik spesifik provinsi dan dimensi waktu telah dikendalikan. Di sisi lain, variabel listrik yang dibangkitkan tidak memperlihatkan pengaruh yang signifikan secara statistik. Terdapat temuan menarik berupa arah koefisien yang bernilai negatif pada dua variabel yang signifikan tersebut. Nilai negatif ini merepresentasikan dinamika variasi yang terjadi di dalam suatu provinsi. Artinya, pertumbuhan pasokan listrik yang sangat besar tidak selalu diiringi oleh laju perluasan akses yang proporsional, khususnya pada provinsi yang angka elektrifikasinya sudah nyaris mencapai batas maksimal atau jenuh. Pola ini memberikan indikasi kuat bahwa faktor yang paling relevan bagi perluasan akses kelistrikan rumah tangga adalah penyaluran aktual kepada pihak konsumen, bukan sekadar peningkatan nominal pada kapasitas produksi.

Ditinjau dari segi kemampuan memproyeksikan data masa depan, model yang dibangun terbukti mampu menjelaskan sekitar 66,1 persen dari total variasi data aktual pada periode

pengujian dari tahun 2022 hingga 2024. Tingkat akurasi ini ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi sebesar 0,661 dan nilai Root Mean Squared Error sebesar 10,27 poin persentase. Pencapaian ini membuktikan bahwa meskipun model tersebut hanya dilatih menggunakan data historis hingga tahun 2021, tingkat relevansinya masih tergolong sangat baik ketika diaplikasikan untuk memprediksi data pada periode yang lebih mutakhir. Kendati demikian, hasil evaluasi pada plot residual masih memperlihatkan adanya sebuah pola yang sistematis. Pola tersebut menjadi petunjuk penting bahwa masih terdapat berbagai faktor eksternal di luar variabel teknis ketenagalistrikan yang turut memengaruhi riil akses listrik rumah tangga di lapangan.

Berbagai temuan dalam studi ini menghasilkan beberapa implikasi penting bagi perumusan kebijakan. Poin pertama yang perlu disoroti adalah penambahan kapasitas maupun distribusi jaringan listrik secara fisik ternyata belum memadai untuk menjamin terjadinya pemerataan akses rumah tangga secara otomatis, terutama bagi wilayah yang masih berstatus tertinggal. Oleh karena itu, pemerintah dituntut untuk merancang intervensi yang jauh lebih terarah, contohnya melalui program elektrifikasi pedesaan yang secara matang mempertimbangkan kendala kondisi geografis serta tingkat kemampuan ekonomi masyarakat setempat. Poin kedua, ketimpangan infrastruktur antarprovinsi yang tergambar jelas dari visualisasi data menegaskan bahwa penerapan kebijakan yang seragam ke seluruh wilayah menjadi kurang efektif. Pendekatan kebijakan yang dibedakan secara spesifik berdasarkan kondisi riil tiap daerah dinilai akan jauh lebih relevan dan tepat sasaran.

Di samping berbagai temuan dan implikasi tersebut, penelitian ini juga memiliki sejumlah keterbatasan yang patut diakui. Data yang digunakan masih sangat terbatas pada variabel sisi penawaran yang berasal dari sektor ketenagalistrikan formal jaringan PLN semata. Dengan demikian, model ini belum mampu mengakomodasi kontribusi sumber listrik di luar PLN maupun faktor pendorong dari sisi permintaan. Masalah lainnya terletak pada kelengkapan data yang mengharuskan peneliti untuk mengecualikan beberapa provinsi serta keseluruhan observasi pada tahun 2016 dari proses estimasi. Untuk menyempurnakan kajian ini, riset selanjutnya sangat disarankan untuk memperkaya spesifikasi model dengan memasukkan beragam indikator dari sisi permintaan. Indikator tambahan seperti tingkat pendapatan per kapita daerah, kepadatan demografi, proporsi penduduk di kawasan pedesaan, atau alokasi anggaran daerah untuk sektor energi akan sangat berguna untuk menyajikan pemahaman yang jauh lebih utuh mengenai determinan akses listrik rumah tangga di Indonesia.

REFERENSI

- Alnavis, N. B., Wirawan, R. R., Solihah, K. I., & Nugroho, V. H. (2024). Energi listrik berkelanjutan: Potensi dan tantangan penyediaan energi listrik di Indonesia. *Journal of Innovation Materials, Energy, and Sustainable Engineering*, 1(2), 119–139. <https://doi.org/10.61511/jimese.v1i2.2024.544>
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Persentase rumah tangga menurut provinsi dan sumber penerangan utama dari listrik PLN (persen)*.
- Basconcillo, J. A., & Rimkute, A. (2023). GMM approach to residential electricity consumption in Indonesia. *Energy Research Letters*, 4(3). <https://doi.org/10.46557/001c.33899>
- Gashaye, A. T., Liu, H., & Li, J. (2025). The effect of access to electricity on rural households of underdeveloped countries: Evidence from Ethiopia. *Energy Policy*, 199, Article 114531. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114531>
- International Energy Agency. (2024). *Access to electricity*. In *SDG7: Data and projections*.
- J-PAL. (2024). *Expanding household electricity access*. Abdul Latif Jameel Poverty Action Lab.
- MENTARI Programme. (2022, September 22). *Program elektrifikasi seluruh penjuru negeri*:

Penantian cahaya terang.

Nasrudin, R., Quarina, Q., & Dartanto, T. (2022). Revisiting the energy-happiness paradox: A quasi-experimental evidence of electricity access in Indonesia. *Journal of Happiness Studies*, 23(7), 3549–3576. <https://doi.org/10.1007/s10902-022-00567-6>

PT PLN (Persero). (2024). *Statistik PLN 2023*.

Tinambunan, E. V. (2019). Dampak pembangunan infrastruktur dalam mendorong pertumbuhan untuk mengurangi tingkat kemiskinan di Indonesia tahun 2013–2017. *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Pembangunan*, 8(1), 20–42. <https://doi.org/10.29244/jekp.8.1.2019.20-42>