

ANALISIS ESTIMASI KEBUTUHAN LISTRIK UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN *SMART GRID* DI JAWA BARAT SAMPAI TAHUN 2032

Ali Ammarullah

Institut Teknologi Bandung, Indonesia

E-mail : aliammarullah@gmail.com

Abstract: Electrical energy has played an important role in the progress of human civilization in various fields, including economics, technology, social interaction, and human culture. The increasing need for electrical energy as a result of technological innovation presents challenges both in production and distribution. By increasing the need for reliability, efficiency, and security, the increase in demand for electrical energy increases the complexity of the electrical grid. These characteristics contributed to the power grid becoming smarter and ultimately gave rise to the term "Smart Grid". The daily operations of the local economy may be affected by disruptions in the supply of electrical energy. As a result, the supply of electrical energy must be reliable. Estimation of electrical energy requirements is needed in the electrical system to determine precisely the amount of electrical power needed to meet the load and electrical energy needs during the distribution of electrical power energy. Estimations were carried out using multiple linear regression methods based on data on electricity consumption and economic growth. The data used is historical data for 2014-2021. The results of the estimated electricity demand in West Java for 2022-2032 will increase by 2.35% per year with electricity demand in 2022 amounting to 54,278.70 GWh and 68,489.84 GWh in 2032.

Keywords: Estimation of Electricity Needs, Smart Grid, West Java, Multiple Linear Regression

Abstrak: Energi listrik telah memainkan peran penting dalam kemajuan peradaban manusia di berbagai bidang, termasuk bidang ekonomi, teknologi, interaksi sosial, dan budaya manusia. Kebutuhan akan energi listrik yang semakin meningkat sebagai akibat dari inovasi teknologi memberikan tantangan baik dalam produksi maupun distribusinya. Dengan meningkatkan kebutuhan akan keandalan, efisiensi, dan keamanan, peningkatan atas permintaan energi listrik meningkatkan kompleksitas jaringan listrik. Karakteristik ini berkontribusi pada jaringan listrik menjadi lebih pintar dan akhirnya memunculkan istilah "*Smart Grid*". *Operasi sehari-hari ekonomi lokal dapat dipengaruhi oleh gangguan pasokan energi listrik.* Akibatnya, sangat penting bahwa pasokan energi listrik dapat diandalkan. Estimasi kebutuhan energi listrik diperlukan dalam sistem kelistrikan untuk menentukan secara tepat jumlah daya listrik yang dibutuhkan untuk memenuhi beban dan kebutuhan energi listrik selama penyaluran energi listrik. Estimasi dilakukan dengan menggunakan metode regresi linier berganda berdasarkan data konsumsi listrik dan pertumbuhan ekonomi. Data yang digunakan merupakan data historis tahun 2014-2021. Hasil dari estimasi kebutuhan listrik di Jawa Barat untuk tahun 2022-2032 meningkat sebesar 2.35% pertahun dengan kebutuhan listrik tahun 2022 sebesar 54,278.70 GWh dan sebesar 68,489.84 GWh pada tahun 2032.

Kata Kunci: Estimasi Kebutuhan Listrik, *Smart Grid*, Jawa Barat, Regresi Linier Berganda

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi telah meningkat sebagai akibat dari urbanisasi, peningkatan standar hidup, dan inovasi teknologi. Akibatnya, konsumsi listrik meningkat ke tingkat yang, jika diabaikan, bisa menjadi tidak terkendali. Ini merupakan kondisi yang memprihatinkan baik bagi kelestarian lingkungan global maupun bagi penyediaan energi yang berkelanjutan. Setiap orang, termasuk peralatan rumah tangga dan manusia, sangat membutuhkan energi listrik. Energi listrik juga semakin hari juga semakin sering digunakan. Kota menyumbang sekitar 75–80% dari konsumsi energi global dan 80% dari emisi gas rumah kaca (Mohanty, Choppali, & Kougianos, 2016; Nam & Pardo, 2011). Kecenderungan serupa dapat dilihat di wilayah Jawa Barat, di mana kebutuhan energi listrik akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk. Ada banyak orang yang menggunakan energi listrik untuk berbagai keperluan di dunia saat ini. Mengantisipasi kekurangan energi listrik akan sangat terbantu dengan memperkirakan kebutuhan listrik di masa mendatang.

Jaringan listrik di seluruh dunia memiliki dinamika, struktur, dan prinsip yang serupa sejak listrik pertama kali digunakan, terlepas dari kemajuan teknologi. Pembangkitan, distribusi, dan pengelolaan listrik hanyalah beberapa dari tugas dasar jaringan tenaga konvensional ini (Fang, Misra, Xue, & Yang, 2012). Sistem kelistrikan saat ini dikonfigurasi dengan cara yang membuatnya tidak dapat diandalkan, menghambat integrasi sumber energi terdistribusi, memiliki kehilangan transmisi yang signifikan, kualitas daya rendah, rentan terhadap pemadaman, dan menyediakan listrik yang tidak mencukupi. Sistem tradisional ini tidak memiliki pemantauan dan kontrol waktu secara *real-time*, yang membuat *smart grid* sulit diimplementasikan sebagai solusi.

Grid, atau jaringan konduktor listrik, diperlukan untuk distribusi listrik ke konsumen. Istilah "*Smart Grid*" dapat berlaku untuk jaringan ini jika memiliki sistem kontrol dan pemantauan otomatis dan cerdas. Secara teknis, *smart grid* adalah konsep untuk jaringan konvensional yang menggabungkan teknologi otomatis dan modern untuk meningkatkan reliabilitas dan keberlanjutannya.

Jaringan konvensional hanya digunakan untuk mentransfer dan mendistribusikan listrik, tetapi jaringan pintar saat ini dapat berkomunikasi, menyimpan informasi, dan bahkan

membuat keputusan berdasarkan keadaan untuk memasok listrik dengan cara yang efisien, berkelanjutan, murah, dan aman (SmartGrids, E. T. P., 2010).

Untuk melakukan modernisasi dari jaringan konvensional ke dalam *smart grid*, terdapat beberapa fitur ataupun karakter yakni: pertama, memiliki fitur kemampuan sistem jaringan untuk memenuhi kebutuhan konsumen, yang diukur dengan reliabilitas yang mengacu pada sistem dengan kekurangan dan kesalahan yang lebih sedikit dan pasokan listrik yang konstan.

Kedua, fitur yang mengatasi masalah keamanan *smart grid*. Saat otomatisasi meningkat, jaringan menjadi lebih rentan terhadap serangan siber karena pemantauan dan kontrol jaringan jarak jauh. Suleiman et al., mengusulkan cara untuk mengidentifikasi kelemahan *smart grid* yang biasanya dieksploitasi penyerang dengan menggunakan Smart Grid Systems Threats Analysis dan dengan integrasi System Security Threat Model (Suleiman, Alqassem, Diabat, Arnautovic, & Svetinovic, 2015).

Ketiga, menyediakan fitur sisi permintaan atau pengguna agar dapat berkomunikasi dengan jaringan dalam dua arah berkat teknologi *smart grid* yang menawarkan pengguna kesempatan untuk memanfaatkan listrik dengan bijak. Hal ini akan meningkatkan efisiensi di kedua sisi, permintaan dan distribusi, karena beban puncak untuk berbagai konsumen berbeda-beda (Mohsenian-Rad, Wong, Jatskevich, Schober, & Leon-Garcia, 2010).

Keempat, menyediakan fitur meteran otomatis pintar yang terhubung ke otomatisasi sistem distribusi. Dalam *smart grid*, metering menawarkan jalur komunikasi dua arah antara konsumen dan distributor. Alat ini membantu konsumen dalam mengatur konsumsi energi listriknya selain membantu distributor dalam menciptakan sistem billing yang lebih akurat. Ada beberapa faktor yang merangsang penggunaan smart meter, antara lain peraturan metering bulanan, kenaikan harga, dan ketidakpuasan konsumen (Leysen, 2018).

Kelima, menyediakan fitur Integrasi sumber terbarukan, yakni struktur jaringan yang harus didesain ulang sepenuhnya untuk mengatasi masalah ini. Aspek lingkungan serta keuntungan listrik adalah kekuatan pendorong di balik pengembangan ide *smart grid*. Memanfaatkan energi secara lebih efektif dan lebih mengandalkan sumber daya terbarukan akan membantu menurunkan jejak karbon manusia.

Keenam, *Smart Grid* menyediakan fitur *Self-healing* yang kuat, tidak hanya dapat mendiagnosis kesalahan jaringan tetapi juga memperbaikinya untuk memastikan pasokan listrik tidak terganggu. Untuk jaringan dengan kemampuan penyembuhan sendiri, parameter kelistrikan jaringan dipantau menggunakan komunikasi waktu *real-time* dan komponen digital yang didistribusikan ke seluruh jaringan. Dengan kemampuan ini, *smart grid* mampu mengidentifikasi setiap potensi masalah yang mungkin ditimbulkan oleh lingkungan atau kesalahan manusia.

Selain itu, *Smart Grids* juga memiliki kemampuan untuk melacak, menyimpan, dan memprediksi keandalan layanannya. Hal ini memungkinkan untuk memonitor pembangkit *hybrid* (pembangkit tersentral dan sumber terbarukan) dari jarak jauh untuk meningkatkan reliabilitas (Colmenar-Santos, Pérez, Diez, & Pérez-Molina, 2015).

Dengan perkembangan ini konsumen pun akan mulai beralih ke peralatan yang “*smart*” dimana peralatan tersebut dapat berkomunikasi dengan jaringan dan menyesuaikan seberapa besar daya yang dibutuhkan dan berapa lama jangka waktu penggunaannya sehingga energi listrik yang digunakan lebih efisien.

Dibandingkan dengan jaringan konvensional, *smart grid* dapat dipasang lebih cepat dan memakan lebih sedikit area berkat kemampuan beradaptasinya. Tujuan dari konsep desain *smart grid* adalah untuk membuat jaringan dapat diamati, membuat aset dapat dikontrol, meningkatkan kinerja dan keamanan sistem tenaga, dan terutama untuk mempertimbangkan elemen keuangan dari operasional, pemeliharaan, dan perencanaan (Momoh, 2009). *Smart grid* ini memiliki banyak potensi dan dapat menawarkan negara berkembang dengan infrastruktur yang buruk untuk mewujudkan sarana transmisi dan distribusi daya yang andal. Dengan mendistribusikan listrik secara efektif, *smart grid* dianggap memainkan peran penting dalam mengatasi masalah meningkatnya konsumsi listrik dan, pada akhirnya, menurunkan emisi polutan seperti NO_x dan SO_x . Selain itu, ini akan membantu pengguna dalam memprediksi permintaan dan menentukan cara yang paling hemat biaya untuk menggunakan energi.

Untuk mengantisipasi potensi krisis konsumsi energi listrik di masa mendatang, estimasi kebutuhan listrik sangat diperlukan. Karena peningkatan permintaan energi listrik yang signifikan akan mengiringi perkembangan sumber daya manusia. Estimasi kebutuhan

energi listrik diperlukan dalam sistem kelistrikan untuk menentukan secara tepat jumlah daya listrik yang dibutuhkan untuk memenuhi beban dan kebutuhan energi listrik selama penyaluran energi listrik. Unsur paling krusial yang harus diperhatikan, selain teknis, adalah unsur ekonomi. Kapasitas daya terdistribusi yang tidak mencukupi karena proyeksi yang tidak akurat akan mencegah beban terpenuhi; di sisi lain, antisipasi beban yang terlalu tinggi akan mengakibatkan kelebihan kapasitas daya, yang akan mengakibatkan kerugian. Variabel berikut dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan energi listrik jangka panjang (Syafuruddin, Hakim, & Despa, 2014): Pelanggan Listrik, Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), Daya Tersambung, Faktor Beban, Susut Energi.

Penelitian ini memanfaatkan data historis untuk memprediksi pola kejadian di masa mendatang dan menggunakan metode regresi linier berganda. Selanjutnya jika *smart grid* telah diimplementasikan di Jawa Barat, data yang digunakan merupakan data yang didapatkan dari sensor dan peralatan di dalam jaringan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode estimasi. Metode estimasi adalah cara untuk mengukur atau meramalkan kejadian yang akan datang. Estimasi kualitatif dan kuantitatif dimungkinkan. Estimasi kuantitatif adalah yang dibuat dengan menggunakan metode statistik, sedangkan estimasi kualitatif adalah perkiraan yang dibuat berdasarkan pendapat para ahli. Dalam konteks ini, estimasi akrab dengan istilah prediksi dan perkiraan.

Teknik memperkirakan suatu variabel atau kejadian di masa yang akan datang berdasarkan informasi atau variabel yang telah terjadi disebut perkiraan. Untuk membuat perkiraan masa depan, data historis digabungkan secara metodis menggunakan teknik tertentu. Prediksi adalah praktik membuat tebakan terpelajar tentang variabel atau peristiwa masa depan menggunakan informasi tentang kejadian masa lalu yang telah terjadi. Perkiraan yang baik dalam proses prediksi ini bergantung pada bakat, kebijaksanaan, dan kepekaan orang yang terlibat (Herjanto, 1999).

Prosedur analisis data yang digunakan oleh penelitian ini adalah regresi linier. Regresi linier adalah sebuah metode yang digunakan untuk membuat sebuah model yang mendeskripsikan hubungan antara satu variabel terikat dan variabel bebas (Tabachnick &

Fidell, 2007). Tujuan dari dilakukannya regresi antara lain: 1) untuk menentukan apakah ada atau tidaknya hubungan antara variabel. 2) untuk mendeskripsikan sifat dari hubungan, dapat bebrbentuk persamaan matematis. 3) untuk menilai tingkat akurasi dari deskripsi atau prediksi dari persamaan regresi.

Dalam kasus “*multiple regression*”, digunakan untuk menilai kepentingan relatif dari berbagai variabel bebas dalam kontribusinya terhadap variasi dari variabel terikat

Tergantung dari apakah terdapat satu atau lebih variabel bebas, analisis regresi linear dibedakan menjadi analisis regresi linier sederhana dan analisis regresi linier berganda.

Regresi Linier Sederhana

Regresi Linier sederhana adalah hubungan antara dua variabel yaitu satu variabel terikat dan satu variabel bebas (Tabachnick & Fidell, 2007). Dimungkinkan untuk meramalkan pola tren di masa depan dengan menggunakan metode regresi sederhana ini. Jika dinyatakan secara matematis, metode ini dituliskan sebagai:

$$y = a + bx \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

y = variabel terikat

a = konstanta

b = koefisien kemiringan

x = variabel bebas

Nilai a dan b dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut (Herjanto, 1999):

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$a = \frac{\sum y - (\sum x)b}{n} \dots\dots\dots (2.3)$$

Regresi Linier Berganda

Menemukan pola atau tren dalam data historis memerlukan penggunaan regresi berganda. Lebih dari satu variabel bebas yang mempengaruhi variabel terikat digunakan dalam regresi berganda (Tabachnick & Fidell, 2007). Persamaan matematis untuk metode ini adalah sebagai berikut:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

y = variabel terikat

$x_n = n$ variabel bebas

a = konstanta

b_n = koefisien kemiringan garis regresi terhadap perubahan x_n

n = jumlah variabel bebas

Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi adalah ukuran umum untuk menilai ketepatan model termasuk untuk persamaan regresi linier berganda karena mengukur seberapa dekat hubungan variabel bebas dan terikat. Koefisien determinasi untuk metode regresi linier berganda dapat dihitung dengan rumus:

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

R^2 = koefisien determinasi dengan nilai diantara 0 sampai 1

\hat{y}_i = nilai trend tahun ke $- i$

\bar{y} = nilai rata-rata y

y_i = data pada tahun ke $- i$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pada penelitian ini digunakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat dan PT. PLN (Persero) tahun 2014 - 2021 sesuai dengan variabel yang dibutuhkan yaitu: Jumlah Pelanggan, PDRB, Daya Tersambung, Kebutuhan Energi, Rasio Elektrifikasi, Faktor Beban, dan Susut Energi wilayah Jawa Barat.

Tabel 1. Jumlah pelanggan listrik setiap sektor di Jawa Barat (PLN, 2014; PLN, 2015; PLN, 2016; PLN, 2017; PLN, 2018; PLN, 2019; PLN, 2020; PLN, 2021)

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Industri	Sosial	Gedung Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Total
2014	10,354,332	12,926	328,638	216,443	12,584	44,508	10,969,431
2015	11,222,852	13,481	356,805	231,665	13,368	49,358	11,887,529
2016	11,747,972	13,999	426,509	247,926	14,178	56,625	12,507,209
2017	12,388,399	14,590	506,173	265,362	15,131	63,956	13,253,611

2018	13,041,471	15,142	568,019	282,150	16,615	72,537	13,995,934
2019	13,628,105	15,439	589,240	297,856	17,708	80,966	14,629,314
2020	14,099,301	15,827	635,049	313,867	18,418	85,511	15,167,973
2021	14,604,802	16,444	702,787	331,678	19,922	90,114	15,765,747

Tabel 2. Pendapatan Domestik Regional Bruto di Jawa Barat (BPS, 2022)

Tahun	PDRB
2014	24,966,855.23
2015	25,845,503.77
2016	26,923,505.52
2017	27,970,918.46
2018	29,161,391.20
2019	30,247,470.83
2020	29,494,358.76
2021	30,908,000.00

Tabel 3. Daya tersambung di Jawa Barat (dalam MVA) (PLN, 2014; PLN, 2015; PLN, 2016; PLN, 2017; PLN, 2018; PLN, 2019; PLN, 2020; PLN, 2021)

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Industri	Sosial	Gedung Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Total
2014	8,746.86	6,696.94	3,177.71	465.91	236.04	84.82	19,408.28
2015	9,458.51	7,317.38	3,021.67	516.26	252.82	90.82	20,657.46
2016	10,139.76	7,778.34	3,301.34	584.86	273.92	100.28	22,178.50
2017	10,858.70	7,948.31	3,591.92	661.48	296.13	110.46	23,467.00
2018	11,566.06	8,235.09	3,868.20	746.52	318.79	119.93	24,854.59
2019	12,261.52	8,517.04	4,087.66	828.03	339.65	128.00	26,161.90
2020	12,907.48	8,579.50	4,335.62	886.55	354.00	132.37	27,195.52
2021	13,642.69	8,831.24	4,678.40	954.44	378.21	137.14	28,622.12

Tabel 4. Kebutuhan Energi Listrik di Jawa Barat (dalam GWh) (PLN, 2014; PLN, 2015; PLN, 2016; PLN, 2017; PLN, 2018; PLN, 2019; PLN, 2020; PLN, 2021)

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Industri	Sosial	Gedung Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Total
2014	15,897.75	20,910.42	4,739.88	709.10	332.42	296.35	42,885.92
2015	16,794.88	20,716.98	4,605.88	787.79	355.68	297.71	43,558.92
2016	17,464.02	22,187.93	4,921.16	878.54	378.48	313.10	46,143.23
2017	17,555.20	22,956.68	5,231.90	951.15	393.52	336.99	47,425.44

2018	17,933.63	23,903.66	5,644.72	1,058.78	417.98	352.95	49,311.72
2019	18,753.88	24,051.64	6,080.21	1,181.34	456.40	360.51	50,883.98
2020	20,362.31	21,427.96	5,797.60	1,142.95	433.73	377.70	49,542.25
2021	20,925.89	24,077.60	6,277.79	1,214.62	449.98	372.14	53,318.02

Tabel 5. Faktor Beban, dan Susut Energi di Jawa Barat (PLN, 2014; PLN, 2015; PLN, 2016; PLN, 2017; PLN, 2018; PLN, 2019; PLN, 2020; PLN, 2021)

Tahun	Faktor Beban	Susut Energi
2014	78.26	22,005.98
2015	80.02	22,589.01
2016	62.62	23,358.90
2017	74.93	22,147.47
2018	78.64	25,093.26
2019	76.41	25,822.86
2020	78.32	24,960.53
2021	77.22	25,143.66

Model Prediksi

Dalam melakukan estimasi kebutuhan energi listrik di Jawa Barat, beberapa macam model regresi linier berganda dibangun. Untuk model konsumsi energi listrik menggunakan parameter jumlah pelanggan (x_1), PDRB (x_2), faktor beban (x_3), dan susut energi (x_4). Sementara untuk model daya tersambung juga menggunakan parameter jumlah pelanggan (x_1), PDRB (x_2), faktor beban (x_3), dan susut energi (x_4). Sebelum dapat dilakukan estimasi kebutuhan energi listrik di Jawa Barat dengan model di atas, pertama-tama dilakukan terlebih dahulu prediksi masing-masing parameter untuk tahun 2022 – 2032 (10 tahun) sebagai input parameter untuk estimasi kebutuhan energi listrik di Jawa Barat nantinya. Metode untuk melakukan prediksi parameter tersebut menggunakan model regresi linier sederhana.

Prediksi Jumlah Pelanggan Listrik

Dalam memprediksikan jumlah pelanggan, digunakan metode regresi linier sederhana. Data yang digunakan adalah data pelanggan di Jawa Barat selama tahun 2014 – 2021 dari tabel 1.

Tabel 6. Hasil prediksi jumlah pelanggan setiap sektor di Jawa Barat tahun 2022-2032

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Industri	Sosial	Gedung Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Total
2022	15,337,458	16,940	758,454	347,524	20,742	99,105	16,580,222
2023	15,937,803	17,430	812,744	364,003	21,798	106,029	17,259,806
2024	16,538,149	17,921	867,033	380,482	22,853	112,952	17,939,391
2025	17,138,494	18,412	921,322	396,961	23,909	119,876	18,618,975
2026	17,738,839	18,903	975,612	413,440	24,965	126,800	19,298,559
2027	18,339,185	19,394	1,029,901	429,919	26,021	133,724	19,978,143
2028	18,939,530	19,885	1,084,190	446,398	27,077	140,648	20,657,727
2029	19,539,875	20,375	1,138,480	462,876	28,133	147,572	21,337,311
2030	20,140,221	20,866	1,192,769	479,355	29,188	154,496	22,016,896
2031	20,740,566	21,357	1,247,058	495,834	30,244	161,420	22,696,480
2032	21,340,911	21,848	1,301,347	512,313	31,300	168,344	23,376,064

Prediksi PDRB

Dalam memprediksikan PDRB, digunakan metode regresi linier sederhana. Data yang digunakan adalah data PDRB di Jawa Barat selama tahun 2014 – 2021 dari tabel 2.

Tabel 7. Hasil prediksi PDRB di Jawa Barat tahun 2022-2023

Tahun	PDRB
2022	31,993,035.67
2023	32,838,210.16
2024	33,683,384.64
2025	34,528,559.13
2026	35,373,733.62
2027	36,218,908.11
2028	37,064,082.60
2029	37,909,257.09
2030	38,754,431.57
2031	39,599,606.06
2032	40,444,780.55

Prediksi Faktor Beban dan Susut Energi

Dalam memprediksikan faktor beban dan susut energi, masing-masing parameter menggunakan metode regresi linier sederhana. Data yang digunakan adalah data faktor beban dan susut energi di Jawa Barat selama tahun 2014 – 2021 dari tabel 5.

Tabel 8. Hasil prediksi faktor beban dan susut energi di Jawa Barat tahun 2022-2032

Tahun	Faktor Beban	Susut Energi
2022	77.36	26,255.87

2023	77.71	26,781.57
2024	78.06	27,307.28
2025	78.40	27,832.98
2026	78.75	28,358.68
2027	79.10	28,884.38
2028	79.45	29,410.09
2029	79.79	29,935.79
2030	80.14	30,461.49
2031	80.49	30,987.20
2032	80.83	31,512.90

Prediksi Daya Tersambung

Dalam memprediksikan daya tersambung untuk masing-masing sektor, digunakan metode regresi linier berganda dimana variabel bebasnya adalah jumlah pelanggan (x_1), PDRB (x_2), faktor beban (x_3), dan susut energi (x_4). Data yang digunakan untuk membuat model adalah data variabel bebas tersebut tahun 2014 – 2021 (tabel 1, 2, 3, dan 5). Model regresi linier berganda tersebut menghasilkan persamaan regresi sebagai berikut:

$$y_{RumahTangga} = -2736.931 + 0.001x_1 - 0.000046x_2 + 1.557x_3 - 0.024x_4 \dots\dots\dots (3.1)$$

$$y_{Bisnis} = 71.740 + 0.382x_1 + 0.00011x_2 - 15.575x_3 + 0.014x_4 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$y_{Industri} = 3430.916 + 0.006x_1 - 0.00016x_2 + 4.936x_3 + 0.053x_4 \dots\dots\dots (3.3)$$

$$y_{Sosial} = -651.250 + 0.004x_1 + 0.0000004x_2 + 0.679x_3 + 0.007x_4 \dots\dots\dots (3.4)$$

$$y_{Pemerintah} = -30.850 + 0.017x_1 + 0.0000004x_2 - 0.209x_3 - 0.002x_4 \dots\dots\dots (3.5)$$

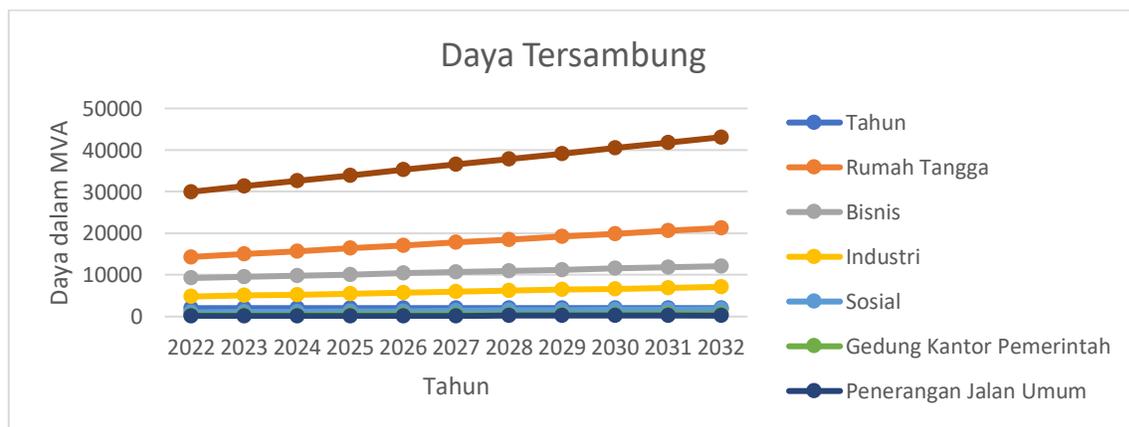
$$y_{PJU} = 4.455 + 0.0015x_1 + 0.0000002x_2 - 0.02x_3 - 0.00049x_4 \dots\dots\dots (3.6)$$

Pada uji signifikansi masing-masing sektor didapatkan keterangan bahwa masing-masing variabel bebas setiap sektor terdapat pengaruh yang signifikan terhadap masing-masing variabel terikatnya. Koefisien determinasi yang didapatkan pada sektor rumah tangga sebesar 99.5%, koefisien determinasi untuk sektor bisnis sebesar 98%, koefisien determinasi untuk sektor industri sebesar 98.5%, koefisien determinasi untuk sektor sosial sebesar 99%, koefisien determinasi untuk sektor Gedung kantor pemerintah sebesar 99%, dan koefisien determinasi untuk sektor penerangan jalan umum sebesar 99%.

Selanjutnya untuk mendapatkan prediksi daya tersambung untuk tahun 2022 – 2032, digunakanlah persamaan regresi untuk masing-masing sektor tersebut (persamaan 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, dan 3.6) menggunakan data prediksi tahun 2022 – 2032 untuk masing-masing parameter (tabel 6, 7, dan 8).

Tabel 9. Hasil prediksi daya tersambung untuk masing-masing sektor di Jawa Barat tahun 2022-2032 (dalam MVA)

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Industri	Sosial	Gedung Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Total
2022	14,322.43	9,263.17	4,808.56	1,031.55	398.13	148.74	29,972.59
2023	15,016.82	9,546.54	5,042.06	1,104.01	418.55	156.69	31,284.68
2024	15,711.21	9,829.92	5,275.56	1,176.46	438.98	164.64	32,596.77
2025	16,405.59	10,113.29	5,509.06	1,248.91	459.41	172.59	33,908.86
2026	17,099.98	10,396.67	5,742.56	1,321.37	479.84	180.54	35,220.96
2027	17,794.36	10,680.04	5,976.06	1,393.82	500.27	188.49	36,533.05
2028	18,488.75	10,963.42	6,209.56	1,466.28	520.70	196.43	37,845.14
2029	19,183.13	11,246.79	6,443.06	1,538.73	541.13	204.38	39,157.23
2030	19,877.52	11,530.17	6,676.56	1,611.19	561.56	212.33	40,469.33
2031	20,571.91	11,813.54	6,910.06	1,683.64	581.99	220.28	41,781.42
2032	21,266.29	12,096.92	7,143.56	1,756.10	602.41	228.23	43,093.51



Gambar 1. Hasil Prediksi daya setiap sektor di Jawa Barat tahun 2022-2032

Pembahasan

Dalam mengestimasi kebutuhan listrik di Jawa Barat pada tahun 2022-2032, digunakan metode regresi linier berganda dimana variabel bebasnya adalah jumlah pelanggan (x_1), PDRB (x_2), faktor beban (x_3), dan susut energi (x_4). Data yang digunakan untuk membuat model adalah data variabel bebas tersebut tahun 2014 – 2021 (tabel 1, 2, 4, dan 5). Model regresi linier berganda tersebut menghasilkan persamaan regresi sebagai berikut:

$$y_{RumahTangga} = 14943.123 + 0.002x_1 - 0.001x_2 - 18.431x_3 + 0.017x_4 \dots\dots\dots (3.7)$$

$$y_{Bisnis} = 8832.294 - 2.809x_1 + 0.002x_2 - 23.776x_3 - 0.394x_4 \dots\dots\dots (3.8)$$

$$y_{Industri} = -2355.019 + 0.001x_1 + 0.00019x_2 + 7.826x_3 + 0.052x_4 \dots\dots\dots (3.9)$$

$$y_{Sosial} = -1294.445 + 0.001x_1 + 0.0000057x_2 - 0.050x_3 + 0.014x_4 \dots\dots\dots (3.10)$$

$$y_{Pemerintah} = -252.34 - 0.003x_1 + 0.0000021x_2 - 0.099x_3 + 0.005x_4 \dots\dots\dots (3.11)$$

$$y_{PJU} = 243.479 + 0.002x_1 - 0.00000011x_2 + 0.2x_3 - 0.001x_4 \dots\dots\dots (3.12)$$

Hasil uji signifikansi menunjukkan bahwa masing-masing variabel bebas memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel terikat. Koefisien determinasi yang didapatkan pada sektor rumah tangga sebesar 97.5%, koefisien determinasi untuk sektor bisnis sebesar 88%, koefisien determinasi untuk sektor industri sebesar 96%, koefisien determinasi untuk sektor sosial sebesar 99%, koefisien determinasi untuk sektor Gedung kantor pemerintah sebesar 98%, dan koefisien determinasi untuk sektor penerangan jalan umum sebesar 99%.

Selanjutnya untuk mendapatkan estimasi kebutuhan listrik untuk tahun 2022 – 2032, digunakanlah persamaan regresi untuk masing-masing sektor tersebut (persamaan 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, dan 3.12) serta menggunakan data prediksi tahun 2022 – 2032 untuk masing-masing parameter (tabel 6, 7, dan 8).

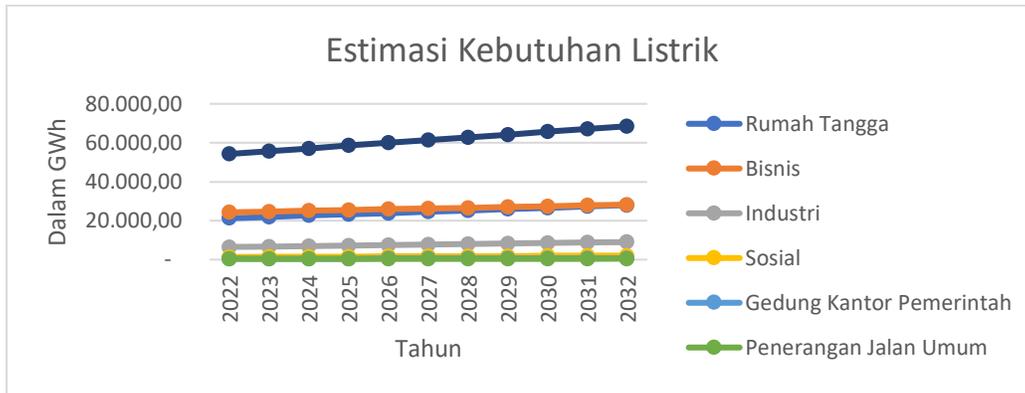
Tabel 10. Estimasi kebutuhan listrik di Jawa Barat tahun 2022-2032 (dalam GWh)

Tahun	Rumah Tangga	Bisnis	Industri	Sosial	Gedung Kantor Pemerintah	Penerangan Jalan Umum	Total
2022	21,251.19	24,299.77	6,520.25	1,329.46	480.77	397.26	54,278.70
2023	21,926.80	24,693.24	6,766.44	1,404.77	498.22	410.33	55,699.81
2024	22,602.41	25,086.72	7,012.64	1,480.09	515.66	423.40	57,120.92
2025	23,278.02	25,480.20	7,258.83	1,555.41	533.10	436.48	58,542.04
2026	23,953.63	25,873.68	7,505.02	1,630.72	550.55	449.55	59,963.15
2027	24,629.25	26,267.16	7,751.21	1,706.04	567.99	462.62	61,384.27

2028	25,304.86	26,660.64	7,997.40	1,781.36	585.43	475.69	62,805.38
2029	25,980.47	27,054.12	8,243.59	1,856.67	602.88	488.77	64,226.49
2030	26,656.08	27,447.60	8,489.78	1,931.99	620.32	501.84	65,647.61
2031	27,331.69	27,841.08	8,735.97	2,007.31	637.77	514.91	67,068.72
2032	28,007.30	28,234.56	8,982.16	2,082.62	655.21	527.98	68,489.84

Tabel 10 menunjukkan hasil estimasi kebutuhan listrik di Jawa Barat tahun 2022-2032. Pertumbuhan kebutuhan listrik sektor rumah tangga meningkat dengan rata – rata kenaikan 2.8% pertahun dengan kebutuhan tahun 2022 sebesar 21,251.19 GWh meningkat menjadi 28,007.30 GWh di tahun 2032. Pertumbuhan kebutuhan listrik sektor bisnis memiliki tingkat pertumbuhan terkecil dengan rata – rata kenaikan 1.51% pertahun dengan kebutuhan tahun 2022 sebesar 24,299.77 GWh meningkat menjadi 28,234.56 GWh di tahun 2032. Pertumbuhan kebutuhan listrik sektor industri meningkat dengan rata – rata kenaikan 3.26% pertahun dengan kebutuhan tahun 2022 sebesar 6,520.25 GWh meningkat menjadi 8,982.16 GWh di tahun 2032. Pertumbuhan kebutuhan listrik sektor sosial memiliki tingkat pertumbuhan terbesar dengan rata – rata kenaikan 4.59% pertahun dengan kebutuhan tahun 2022 sebesar 1,329.46 GWh meningkat menjadi 2,082.62 GWh di tahun 2032. Pertumbuhan kebutuhan listrik sektor gedung kantor pemerintah meningkat dengan rata – rata kenaikan 3.14% pertahun dengan kebutuhan tahun 2022 sebesar 480.77 GWh meningkat menjadi 655.21 GWh di tahun 2032. Pertumbuhan kebutuhan listrik sektor penerangan jalan umum meningkat dengan rata – rata kenaikan 2.89% pertahun dengan kebutuhan tahun 2022 sebesar 397.26 GWh meningkat menjadi 527.98 GWh di tahun 2032.

Terlihat juga untuk setiap tahun kebutuhan akan listrik terus meningkat, rata – rata kenaikan kebutuhan listrik sebesar 2.35%. Hal ini dikarenakan jumlah penduduk terus bertambah dan juga seiring pembangunan di Jawa Barat. Total estimasi kebutuhan listrik di Jawa Barat tahun 2032 sebesar 68,489.84 GWh, untuk itu PLN sebagai penyedia energi listrik perlu merencanakan tambahan pasokan energi listrik di Jawa Barat.



Gambar 2. Hasil estimasi kebutuhan listrik tahun 2022-2032

SIMPULAN

Perkembangan teknologi dan peralatan dapat mengubah cara energi digunakan dengan cara yang hemat biaya dan bermanfaat bagi lingkungan. Dengan menurunkan emisi karbon dan mengintegrasikan lebih banyak sumber energi terbarukan ke dalam jaringan, *smart grid* memiliki kemampuan untuk memenuhi semua kebutuhan penggunaan energi di masa depan dengan cara terbaik. Dengan meningkatkan konsistensi, efektivitas, dan kualitas distribusi listrik, dapat secara signifikan mengubah jaringan konvensional dan sikap konsumen terkait penggunaan energi.

Berdasarkan hasil dari estimasi kebutuhan listrik di Jawa Barat tahun 2022-2032 dapat diambil kesimpulan bahwa estimasi kebutuhan listrik sektor rumah tangga meningkat sebesar 2.8% pertahun, sektor bisnis meningkat sebesar 1.51% pertahun, sektor industri meningkat sebesar 3.26% pertahun, sektor sosial meningkat sebesar 4.59% pertahun, sektor gedung kantor pemerintahan meningkat sebesar 3.14% pertahun, dan sektor penerangan jalan umum meningkat sebesar 2.89% pertahun. Meskipun rata – rata peningkatan pertahun untuk sektor bisnis memiliki peningkatan terkecil, sektor bisnis tetap memiliki estimasi kebutuhan listrik terbesar di tahun 2032 sebesar 28,234.56 GWh bersama dengan sektor rumah tangga sebesar 28,007.30 GWh. Sektor yang memiliki estimasi kebutuhan listrik terkecil di tahun 2032 adalah sektor penerangan jalan umum sebesar 527.98 GWh dan sektor gedung kantor pemerintah sebesar 655.21 GWh. Sehingga estimasi kebutuhan listrik secara menyeluruh di Jawa Barat antara tahun 2022-2032 memiliki pertumbuhan sebesar 2.35% pertahun dengan

kebutuhan sebesar 54,278.70 GWh pada tahun 2022 dan sebesar 68,489.84 GWh pada tahun 2032.

DAFTAR RUJUKAN

- BPS. (2022). *PDRB per Kapita Atas Dasar Harga Konstan Menurut Kabupaten/Kota*. Retrieved Desember 3, 2022, from Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat: <https://jabar.bps.go.id/subject/155/pdrb-menurut-kabupaten-kota.html#subjekViewTab5>
- Colmenar-Santos, A., Pérez, M.-Á., Diez, D. B., & Pérez-Molina, C. (2015). Reliability and management of isolated smart-grid with dual mode in remote places: Application in the scope of great energetic needs. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 73, 805-818.
- ESDM. (2021). Peraturan Menteri ESDM No. 26 tahun 2021 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang terhubung pada jaringan tenaga listrik pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum.
- Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2012). Smart grid-the new and improved power grid: A survey. *IEEE Community Survey Tutorials*, pp. 944-80.
- Herjanto, E. (1999). *Manajemen Produksi & Operasi* (3 ed.). Grasindo.
- Leysen, R. (2018). An analysis of smart meter deployment in Sweden with applicability to the case of India.
- Mohanty, S. P., Choppali, U., & Kougianos, E. (2016). Everything you wanted to know about smart cities: the internet things is the backbone. *IEEE Consumer Electronic Magazine*, 5, pp. 50-70.
- Mohsenian-Rad, A.-H., Wong, V. W., Jatskevich, J., Schober, R., & Leon-Garcia, A. (2010). Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy. *IEEE Trans Smart Grid*, 1, 320-31.
- Momoh, J. A. (2009). Smart grid design for efficient and flexible power networks operation and control. *Power system conference and exposition*, (pp. 1-8).
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Smart city as urban innovation: Focusing on management, policy, and context. *5th International conference on theory and practice of electronic governance*, (pp. 185-94).
- PLN. (2014). *Statistik PLN 2014*. Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero).
- PLN. (2015). *PLN Statistics 2015*. Corporate Secretary PT PLN (Persero).
- PLN. (2016). *Statistik PLN 2016*. Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero).
- PLN. (2017). *PLN Statistics 2017*. Corporate Secretary PT PLN (Persero).
- PLN. (2018). *Statistik PLN 2018*. Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero).
- PLN. (2019). *Statistik PLN 2019*. Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero).

- PLN. (2020). *Statistik PLN 2020*. Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero).
- PLN. (2021). *Statistik PLN 2021*. Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero).
- SmartGrids, E. T. P. (2010). SmartGrids strategic deployment document for Europe's electricity networks of the future. *European Technology Platform SmartGrids*.
- Suleiman, H., Alqassem, I., Diabat, A., Arnautovic, E., & Svetinovic, D. (2015). Integrated smart grid systems security threat model. *Information Systems*, 53, 147-160.
- Syafruddin, M., Hakim, L., & Despa, D. (2014). Metode Regresi Linier untuk Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang (Studi Kasus Provinsi Lampung).
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Using Multivariate Statistics* (5 ed.). Pearson.