

Studi Estimasi Kapasitas Pembebanan Transformator Berdasarkan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Menggunakan Metode Regresi Linier di Gardu Induk Buduran Kabupaten Sidoarjo

¹Nanda Rizki, ²Yuni Rahmawati & ³Dwi Prihanto

¹Jurusan Teknik Elektro

²Universitas Negeri Malang

¹nandarizki593@gmail.com, ²yuni.rahmawati.ft@um.ac.id, ³dwiprihanto0524@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan daya di Kabupaten Sidoarjo dalam 5 tahun terakhir, mengalami kenaikan sebesar 33,08 % setiap tahunnya. Gardu Induk (GI) Buduran merupakan sub sistem dari sistem transmisi tenaga listrik di Kabupaten Sidoarjo. Semakin bertambahnya permintaan konsumsi listrik Kabupaten Sidoarjo maka semakin besar pula pembebanan daya yang ditanggung oleh transformator Gardu Induk (GI) Buduran. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode estimasi kapasitas pembebanan transformator untuk mengantisipasi *overload* pada transformator dan menjaga kualitas distribusi listrik di Kabupaten Sidoarjo. Pada penelitian ini untuk mengetahui kapasitas pembebanan transformator dilakukan estimasi beban per-golongan pelanggan (rumah tangga, industri, bisnis, sosial, dan publik) dengan variabel yang mempengaruhi merupakan sektor perekonomian pada data produk domestik regional bruto (PDRB). Selanjutnya, hasil estimasi tersebut akan dihubungkan dengan estimasi beban pada masing-masing transformator yang mensuplai jenis per-golongan pelanggan tersebut. Metode yang digunakan adalah metode regresi linier. Hasil estimasi dari penelitian ini, transformator II *overload* pada tahun 2022 dengan beban mencapai 49,0 MVA (82%) dari kapasitas terpasang, transformator III *overload* pada tahun 2026 dengan beban mencapai 49,3 MVA (82%) dari kapasitas terpasang, transformator IV *overload* pada tahun 2021 dengan beban mencapai 46,9 (80%) dari kapasitas terpasang, dan transformator V *overload* pada tahun 2027 dengan beban mencapai 16,1 MVA (80%) dari kapasitas terpasang.

Kata Kunci: estimasi, kapasitas, regresi linier, overload

1 Pendahuluan

Kebutuhan daya di Kabupaten Sidoarjo dalam 5 tahun terakhir, mengalami kenaikan sebesar 33,08 % setiap tahunnya. Besarnya jumlah Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) perkapita menurut lapangan usaha atas dasar harga berlaku 2010 s.d 2016, dari setiap tahun mengalami peningkatan dan terbesar dari sektor industri pengolahan [1], membuat konsumsi tenaga listrik yang disebabkan oleh PDRB meningkat, dimana terdapat asumsi bahwa ada

hubungan antara kebutuhan energi listrik industri dengan produk domestik regional bruto [2]-[3].

Gardu Induk (GI) Buduran merupakan sub sistem dari sistem transmisi tenaga listrik di Kabupaten Sidoarjo. Semakin bertambahnya permintaan konsumsi listrik Kabupaten Sidoarjo maka semakin besar pula pembebanan daya yang ditanggung oleh transformator GI Buduran. Sedangkan pembebanan transformator tidak boleh melebihi 80% dari kapasitas terpasang [4]-[5]. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode estimasi kapasitas pembebanan transformator untuk mengantisipasi *overload* pada transformator dan menjaga kualitas distribusi listrik di Kabupaten Sidoarjo.

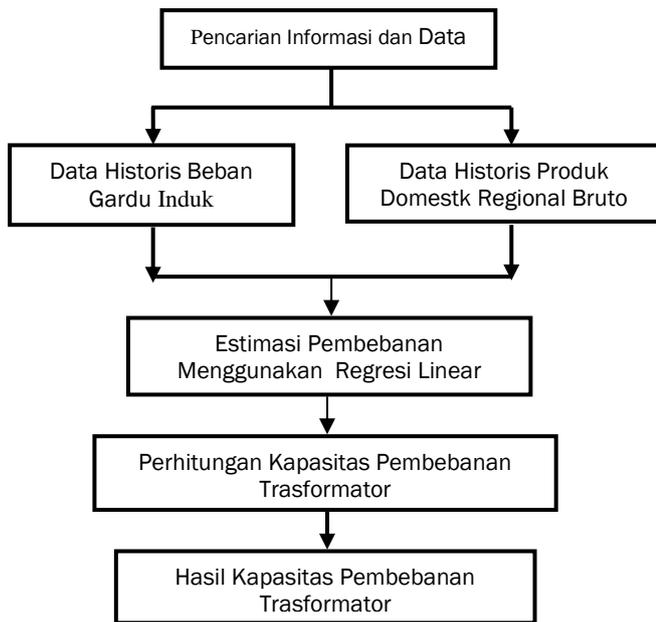
Estimasi kapasitas pembebanan transformator dapat dilakukan menggunakan metode regresi linier [6]-[7]. Metode regresi linier terdapat hubungan antara variabel *dependent* dan *independent* [8]. Berdasarkan studi kasus pada penelitian ini dilakukan estimasi beban per-golongan pelanggan (rumah tangga, industri, bisnis, sosial, dan publik) dengan variabel *independent* merupakan sektor perekonomian pada data PDRB. Selanjutnya, hasil estimasi tersebut akan dihubungkan dengan estimasi beban pada masing-masing transformator yang mensuplai jenis per-golongan pelanggan tersebut.

2 Diskusi

Pada bab diskusi dijelaskan perihal metode penelitian yang digunakan. Selain itu pada bab ini juga dijabarkan hasil penelitian yang didapatkan.

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi dua bagian. Bagian-bagian pada analisis data antara lain yaitu (1) peramalan beban, dan (2) menghitung kapasitas pembebanan transformator. Gambar 1 menunjukkan alur proses analisis data pada penelitian ini.



Gambar 1 Alur Analisis Data

Analisis data dimulai dengan proses estimasi beban melalui data historis beban GI Buduran yang diperoleh dari PLN dan PDRB yang diperoleh dari BPS Kabupaten Sidorjo. Data yang digunakan adalah data beban GI dan data PDRB yang akan diolah menggunakan metode regresi linier. Hasil estimasi pembebanan tersebut digunakan untuk menghitung kapasitas pembebanan transformator, selanjutnya dilakukan analisis kapasitas pembebanan transformator menurut standart SPLN 17:1979.

Data yang digunakan akan diuji terlebih dahulu korelasi antara variabel *dependend* dan *independend*, menggunakan perhitungan *pearson product moment* (r) [9]

$$r = \frac{n \cdot \sum xy - (\sum x) \cdot (\sum y)}{\sqrt{\{n \sum x^2 - (\sum x)^2\} \cdot \{n \sum y^2 - (\sum y)^2\}}} \quad (1)$$

Representasi dari hasil *pearson product moment* (r) dapat menunjukkan tingkat korelasi antar variabel. Tingkat korelasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 [10]

Tabel 1 Tabel tingkat korelasi *pearson product moment*

Nilai r	Tingkat korelasi
0	Tidak ada korelasi
0,01 - 0,25	Korelasi sangat lemah
0,26 - 0,50	Korelasi cukup
0,51 - 0,75	Korelasi kuat
0,76 - 0,99	Korelasi sangat kuat
1	Korelasi sempurna

Prakiraan estimasi pembebanan dilakukan dengan menggunakan metode regresi linier, Persamaan 2 dan 3 adalah perhitungan matematis dari regresi linier [11]

$$y = a + bx \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan 2, y merupakan variabel tidak bebas, x merupakan variabel bebas, a merupakan konstanta, dan b merupakan koefisien.

$$y = a + b_1X_1 + b_2 + \dots \dots \dots b_kX_k \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan 3, y merupakan variabel tidak bebas. X merupakan variabel bebas dengan rincian x_1, x_2, x_3, x_k merupakan variabel bebas 1, 2, 3 dan variabel bebas ke-k. Simbol a merupakan konstanta, dan b merupakan koefisien.

Evaluasi hasil estimasi beban menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Persamaan 4 merupakan rumus matematis MAPE [12-[13].

$$MAPE = \frac{|\hat{y}_t - \hat{y}_{t-1}|}{\hat{y}_{t-1}} \times 100\% \quad (4)$$

\hat{y}_t adalah hasil prakiraan suatu variabel pada periode t, sedangkan \hat{y}_{t-1} adalah hasil prakiraan sebelum periode t. Tabel 2 menunjukkan pengelompokan tingkat akurasi berdasarkan MAPE.[14]

Table 2 Prosentase MAPE dan Akurasi Prakiraan

Variabel	Akurasi Prakiraan
MAPE ≤ 10%	Tinggi
10% < MAPE ≤ 20%	Baik
20% < MAPE ≤ 50%	Reasonable
MAPE > 50%	Rendah

Penentuan batas kapasitas pembebanan di hitung mengunakan perhitungan persentase pembebanan, persamaan 5 merupakan rumus matematis persentase pembebanan [15].

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{S_t}{K_{transformator}} \times 100\% \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan 5, S_t merupakan pembebanan transformator sudah terpakai selama beroperasi (MVA). Sedangkan $K_{transformator}$ merupakan kapasitas transformator yang terpasang (MVA).

2.2 Hasil dan Pembahasan

Pada sub bab hasil dan pembahasan akan ditampilkan hasil dari penelitian yang dilakukan. Berdasarkan hasil penelitian, selanjutnya dilakukan analisis.

2.2.1. Hasil Korelasi Beban Golongan Pelanggan dengan PDRB

Perhitungan korelasi pada penelitian ini menggunakan *pearson product moment* (r) menggunakan *software spss*. Pada penelitian ini masing-masing baban golongan pelanggan akan dikorelasikan dengan sektor perekonomian yang di asumsikan berhubungan dengan beban golongan pelanggan berikut hasil korelasi menggunakan *software spss* :

Tabel 3 Pengujian Korelasi Daya RT dengan PDRB

		Correlation			
Daya	Person	(X1)	(X2)	(X3)	(X4)
Rumah	corelation	,985"	,992"	,998"	,992"
Tangga	Sig (2-tailed)	,000	,000	,000	,000

Berdasarkan Tabel 3, nilai *person corelation* variabel *real estate* (X1), pengeluaran konsumsi Rumah Tangga (X2), pengeluaran LPNRT (X3), dan perubahan inventori (X4). dengan daya rumah tangga (Y) pada rentan 0,76 – 0,99 dan nilai signifikasi yang didapat adalah $0,000 < 0,005$ yang berarti terdapat korelasi sangat kuat, dan korelasi signifikan antara masing-masing variabel.

Tabel 4 Pengujian Korelasi Daya Industri dengan PDRB

		Correlation	
Daya	Person	(X1)	(X2)
Industri	corelation	,985"	,936"
(Y)	Sig (2-tailed)	,000	,000

Berdasarkan Tabel 4 nilai *person corelation* variabel Industri Pengolahan (X1), dan Pertambangan dan Penggalian (X2) dengan daya industri (Y) pada rentan 0,76 – 0,99 dan nilai signifikasi yang didapat adalah $0,000 < 0,005$ yang berarti terdapat korelasi sangat kuat, dan korelasi signifikan antara masing-masing variabel.

Tabel 5 pengujian Korelasi Daya Bisnis dengan PDRB

		Correlation					
Daya	Person	(X1)	(X2)	(X3)	(X4)	(X5)	(X6)
Bisnis	corelation	,993	,861	,996	,991	,983	,987
(Y)	Sig (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Berdasarkan Tabel 5 nilai *person corelation* variabel konstruksi (X1), pengadaan Listrik dan Gas (X2), perdagangan besar dan eceran reparasi mobil dan sepeda (X3), pertanian kehutanan dan perikanan (X4), jasa perusahaan (X5), dan pengadaan air pengelolaan sampah limbah dan daur Ulang (X6). dengan daya bisnis (Y) pada rentan 0,76 – 0,99, dan nilai signifikasi yang didapat adalah $0,000 < 0,005$ yang berarti terdapat korelasi sangat kuat, dan korelasi signifikan antara masing-masing variabel.

Tabel 6 Pengujian Korelasi Daya Sosial dengan PDRB

		Correlation					
Daya	Person	(X1)	(X2)	(X3)	(X4)	(X5)	(X6)
Sosial	corelation	,979	,945	,995	,991	,992	,992
(Y)	Sig (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Berdasarkan Tabel 6, nilai *person corelation* variabel akomodasi makan dan minum (X1), admin pemerintah pertanahan dan jasmos (X2), jasa keuangan dan asuransi (X3), jasa pendidikan (X4), jasa kesehatan dan kegiatan sosial (X5), dan jasa lainnya (X6). dengan daya sosial (Y) pada rentan 0,76 – 0,99 dan nilai signifikasi yang didapat adalah $0,000 < 0,005$ yang berarti terdapat korelasi sangat kuat, dan korelasi signifikan antara masing-masing variabel.

Tabel 7 Pengujian Korelasi Daya Publik dengan PDRB

		Correlation	
Daya	Person	(X1)	(X2)
Industri	corelation	,978"	,992"
(Y)	Sig (2-tailed)	,000	,000

Berdasarkan Tabel 7 nilai *person corelation* variabel transportasi dan pergudangan (X1), dan informasi dan komunikasi (X2) dengan daya publik (Y) pada rentan 0,76 – 0,99 dan nilai signifikasi yang didapat adalah $0,000 < 0,005$ yang berarti terdapat korelasi sangat kuat, dan korelasi signifikan antara masing-masing variabel.

2.2.2. Hasil Estimasi beban golongan Pelanggan berdasarkan PDRB

Estimasi beban golongan pelanggan berdasarkan PDRB dibagi menjadi 5 jenis golongan pelanggan, dimana pertumbuhan daya per-golongan pelanggan menjadi variabel *dependent* (Y), yang dipengaruhi oleh unit perekonomian PDRB sebagai variabel *independend* (X). Perhitungan beban per-golongan pelanggan berdasarkan PDRB dibagi menjadi 5 jenis, yaitu (a) estimasi pertumbuhan daya pelanggan rumah tangga, (b) estimasi pertumbuhan daya pelanggan industri, (c) estimasi pertumbuhan daya pelanggan bisnis, (d) estimasi pertumbuhan daya pelanggan sosial, dan (e) perhitungan pertumbuhan daya pelanggan publik.

a. Estimasi Pertumbuhan Daya Pelanggan Rumah

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi daya rumah tangga sebagai berikut :

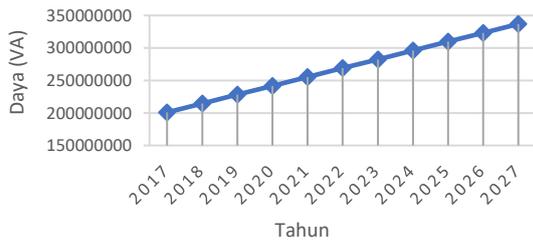
$$Y = -159119722 - 131,79X_1 + 51,90X_2 + 72,56X_3 - 415,96X_4 \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan 5, Y merupakan daya rumah tangga (VA). X merupakan variabel bebas (Rupiah) dengan X_1, X_2, X_3, X_4 berturut-turut yaitu nilai *Real Estate* tahun ke-t, nilai konsumsi rumah tangga tahun ke-t, penguasaan LPNRT tahun ke-t, dan perubahan inventori tahun ke-t.

Berdasarkan persamaan 5 didapat hasil pertumbuhan daya sebagai berikut:

Tabel 8 Hasil Estimasi Daya Industri 2017 s.d 2027

Tahun	Daya rumah tangga (VA)
2017	200931374,8
2018	214519350,1
2019	228107325,4
2020	241695300,7
2021	255283276,0
2022	268871251,3
2023	282459226,6
2024	296047201,9
2025	309635177,2
2026	323223152,5
2027	336811127,8
Persentase Kenaikan	67,62 %



Gambar 2 Grafik Pertumbuhan Beban Golongan Rumah Tangga GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 2 dilihat bahwa pertumbuhan daya yang dipengaruhi unit PDRB golongan rumah tangga pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan sebesar 67,62 %.

b. Estimasi Pertumbuhan Daya Pelanggan Industri

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi daya industri yaitu:

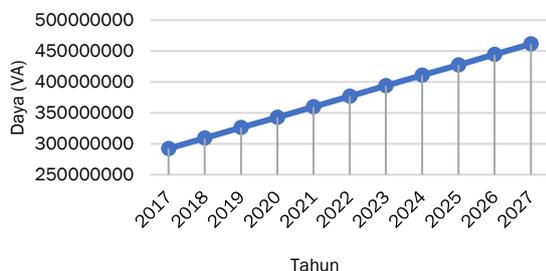
$$Y = -524385229,87 + 5,56X_1 - 8,075X_2 \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan 6, Y merupakan daya industri (VA). X merupakan variabel bebas (Rupiah) dengan X_1 , X_2 berturut-turut yaitu nilai industri pengolahan tahun ke-t, dan nilai pertambangan dan penggalian ke-t.

Berdasarkan persamaan 6 didapat hasil pertumbuhan daya sebagai berikut:

Tabel 9 Hasil Estimasi Daya Industri 2017 s.d 2027

Tahun	Daya Industri (VA)
2017	292232973,3
2018	309164205,9
2019	326095438,5
2020	343026671,1
2021	359957903,8
2022	376889136,4
2023	393820369
2024	410751601,6
2025	427682834,2
2026	444614066,8
2027	461545299,5
Persentase Kenaikan	57,94 %



Gambar 3 Grafik Pertumbuhan Beban Golongan Industri GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 3 dilihat bahwa pertumbuhan daya yang dipengaruhi unit PDRB golongan Industri pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan sebesar 57,94 %.

c. Estimasi Pertumbuhan Daya Pelanggan Bisnis,

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi daya bisnis sebagai berikut:

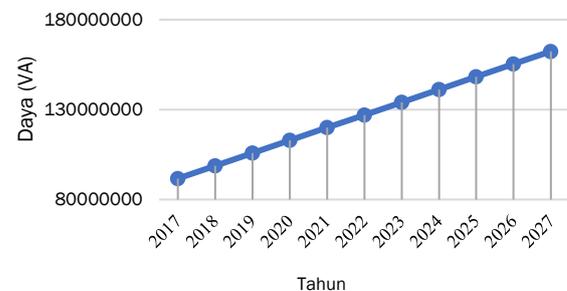
$$Y = 32713986,74 - 60,25X_1 + 18,81X_2 + 31,17X_3 - 70,19X_4 + 1417,67X_5 - 6,063 \times 10^{-13}X_6 \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan 7, Y merupakan daya bisnis (VA). X merupakan variabel bebas (Rupiah) dengan X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 berturut-turut yaitu nilai Konstruksi tahun ke-t, nilai pengadaan listrik dan gas tahun ke-t, nilai perdagangan besar dan eceran tahun ke-t, nilai pertanian kehutanan dan perikanan tahun ke-t, nilai jasa perusahaan tahun ke-t, dan nilai pengadaan air pengolahan sampah dan daur ulang tahun ke-t.

Berdasarkan persamaan 7 didapat hasil pertumbuhan daya sebagai berikut:

Tabel 10 Hasil Estimasi Daya Bisnis 2017 s.d 2027

Tahun	Daya Bisnis (VA)
2017	91692705,33
2018	98760603,05
2019	105828500,8
2020	112896398,5
2021	119964296,2
2022	127032193,9
2023	134100091,6
2024	141167989,3
2025	148235887
2026	155303784,8
2027	162371682,5
Persentase Kenaikan	77,08 %



Gambar 4 Grafik Pertumbuhan Beban Golongan Bisnis GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 10 dan Gambar 4 dilihat bahwa pertumbuhan daya yang dipengaruhi unit PDRB golongan Bisnis pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan sebesar 77,08 %.

d. Estimasi Pertumbuhan Daya Pelanggan Sosial

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi daya sosial sebagai berikut:

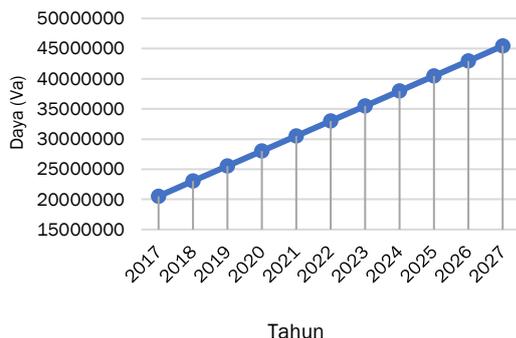
$$Y = 259083628,2 + 90,44X_1 - 141,97X_2 + 297,52X_3 - 419,84X_4 - 390,35X_5 + 2,69 \times 10^{-12}X_6 \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan 8, Y merupakan daya sosial (VA). X merupakan variabel bebas (Rupiah) dengan $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ berturut-turut yaitu nilai akomodasi makan dan minum tahun ke-t, nilai admin pemerintah pertanahan dan jasmos tahun ke-t, nilai jasa keuangan dan asuransi tahun ke-t, nilai jasa pendidikan tahun ke-t, nilai jasa kesehatan dan kegiatan sosial tahun ke-t, dan nilai jasa lainnya.

Berdasarkan persamaan 8 didapat hasil pertumbuhan daya sebagai berikut:

Tabel 11 Hasil Estimasi Daya Sosial 2017 s.d 2027

Tahun	Daya Sosial (VA)
2017	20524172
2018	23017484
2019	25510796
2020	28004108
2021	30497420
2022	32990732
2023	35484044
2024	37977356
2025	40470668
2026	42963980
2027	45457292
Persentase Kenaikan	121,48 %



Gambar 5 Grafik Pertumbuhan Beban Golongan Sosial GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 11 dan Gambar 5 dilihat bahwa pertumbuhan daya yang dipengaruhi unit PDRB golongan sosial pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan sebesar 121,48 %.

e. Estimasi Pertumbuhan Daya Pelanggan Publik

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi daya publik yaitu:

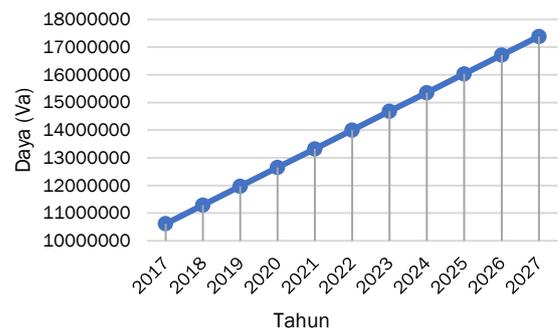
$$Y = -505534,26 + 0,19X_1 + 1,67X_2 \quad (9)$$

Berdasarkan persamaan 9, Y merupakan daya publik (VA). X merupakan variabel bebas (Rupiah) dengan X_1, X_2 berturut-turut yaitu nilai Transportasi dan Pergudangan Tahun ke-t, dan nilai Informasi dan Komunikasi ke-t.

Berdasarkan persamaan 8 didapat hasil pertumbuhan daya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 12 dibawah ini:

Tabel 12 Hasil Estimasi Daya Publik 2017 s.d 2027

Tahun	Daya Publik (VA)
2017	10617317
2018	11294438
2019	11971559
2020	12648680
2021	13325801
2022	14002922
2023	14680043
2024	15357164
2025	16034285
2026	16711406
2027	17388527
Persentase Kenaikan	63,78 %



Gambar 6 Grafik Pertumbuhan Beban Golongan Publik GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 12 dan Gambar 6 dilihat bahwa pertumbuhan daya yang dipengaruhi unit PDRB golongan sosial pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan sebesar 121,48 %.

2.2.3. Hasil Estimasi beban Transformator

Estimasi beban transformator didasarkan pada jenis golongan pelanggan yang disuplai transformator tersebut. Berikut hasil estimasi beban masing-masing transformator GI Buduran.

a. Estimasi beban transformator II

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi beban Transformator II sebagai berikut:

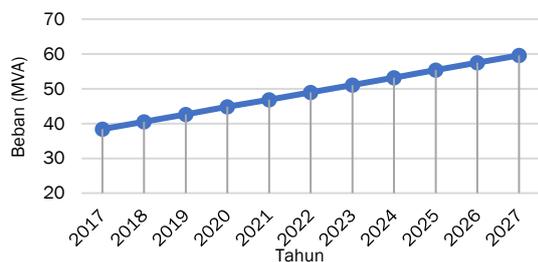
$$Y = 18,71 - 0,000000079X_1 + 0,000000427X_2 + 0,0000001749X_3 \quad (10)$$

Berdasarkan persamaan 10, Y merupakan beban transformator II (MVA). X merupakan variabel bebas (VA) dengan X_1, X_2, X_3 berturut-turut yaitu daya industri tahun ke-t, daya bisnis tahun ke-t, daya sosial tahun ke-t.

Berdasarkan persamaan 10 didapat hasil pertumbuhan beban transformator II sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 13 dibawah ini:

Tabel 13 Hasil Estimasi Beban Trafo II 2017 s.d 2027

Tahun	Beban Trafo II (MVA)
2017	38,4
2018	40,5
2019	42,6
2020	44,8
2021	46,9
2022	49,0
2023	51,1
2024	53,2
2025	55,4
2026	57,5
2027	59,6
Persentase Kenaikan	55,21 %



Gambar 7 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator II Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 13 dan Gambar 7 dilihat bahwa pertumbuhan beban transformator II pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan 55,21 % mengikuti pertumbuhan daya yang mempengaruhi transformator II pada tahun 2017 s.d 2017.

b. Estimasi beban transformator III

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi beban Transformator III sebagai berikut:

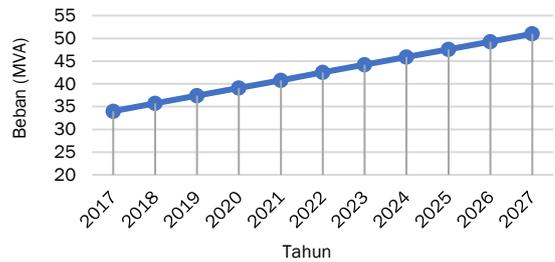
$$Y = 8,039983077 + 0,000000064X_1 + 0,0000012X_2 \quad (11)$$

Berdasarkan persamaan 11, Y merupakan beban transformator III (MVA). X merupakan variabel bebas (VA) dengan X_1 , X_2 , berturut-turut yaitu daya rumah tangga tahun ke-t, daya publik tahun ke-t, daya sosial tahun ke-t.

Berdasarkan persamaan 11 didapat hasil pertumbuhan beban transformator III berikut:

Tabel 14 Hasil Estimasi Beban Trafo III 2017 s.d 2027

Tahun	Beban Trafo III (MVA)
2017	34,0
2018	35,7
2019	37,4
2020	39,1
2021	40,8
2022	42,5
2023	44,2
2024	45,9
2025	47,6
2026	49,3
2027	51,0
Persentase Kenaikan	50 %



Gambar 8 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator III Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 14 dan Gambar 8 dilihat bahwa pertumbuhan beban transformator III pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan 50 % mengikuti pertumbuhan daya yang mempengaruhi transformator III pada tahun 2017 s.d 2017.

c. Estimasi beban transformator IV

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi beban Transformator IV sebagai berikut:

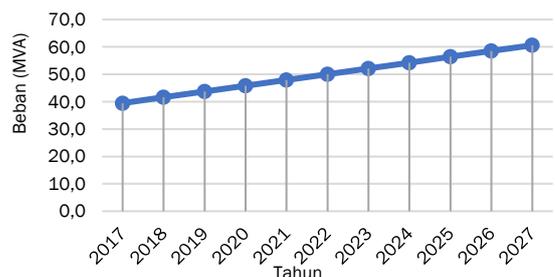
$$Y = 10,28 + 0,00000015X_1 + 10,28 + 0,00000015X_2 + 0,000000074X_3 \quad (12)$$

Berdasarkan persamaan 12, Y merupakan beban transformator IV (MVA). X merupakan variabel bebas (VA) dengan X_1 , X_2 , X_3 , berturut-turut yaitu daya rumah tangga tahun ke-t, daya industri tahun ke-t, daya bisnis tahun ke-t.

Berdasarkan persamaan 12 didapat hasil pertumbuhan beban transformator IV sebagai berikut:

Tabel 15 Hasil Estimasi Beban Trafo IV 2017 s.d 2027

Tahun	Beban Trafo IV (MVA)
2017	38,4
2018	40,5
2019	42,6
2020	44,8
2021	46,9
2022	49,0
2023	51,1
2024	53,2
2025	55,4
2026	57,5
2027	59,6
Persentase Kenaikan	55,21 %



Gambar 9 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator IV Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 15 dan Gambar 9 dilihat bahwa pertumbuhan beban transformator IV pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan 55,21 % mengikuti pertumbuhan daya yang mempengaruhi transformator III pada tahun 2017 s.d 2017.

d. Estimasi beban transformator V

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi beban Transformator V sebagai berikut:

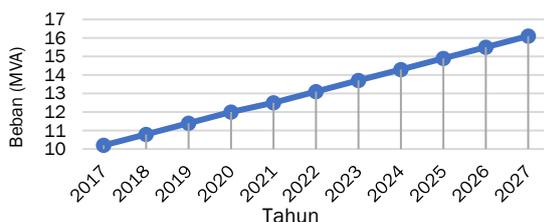
$$Y = -0,597031652 - 0,000000021X_1 + 0,000000051X_2. \quad (13)$$

Berdasarkan persamaan 13, Y merupakan beban transformator V (MVA). X merupakan variabel bebas (VA) dengan X_1 , X_2 berturut-turut yaitu daya rumah tangga tahun ke-t, daya industri tahun ke-t, daya sosial tahun ke-t.

Berdasarkan persamaan 11 didapat hasil pertumbuhan beban transformator III sebagai berikut:

Tabel 15 Hasil Estimasi Beban Trafo V 2017 s.d 2027

Tahun	Beban Trafo V (MVA)
2017	10,2
2018	10,8
2019	11,4
2020	12,0
2021	12,5
2022	13,1
2023	13,7
2024	14,3
2025	14,9
2026	15,5
2027	16,1
Persentase Kenaikan	57,84 %



Gambar 9 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator IV Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 15 dan Gambar 8 dilihat bahwa pertumbuhan beban transformator III pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan 50 % mengikuti pertumbuhan daya yang mempengaruhi transformator III pada tahun 2017 s.d 2017.

Setelah didapatkan hasil beban masing-masing transformator dilakukan evaluasi Hasil Akurasi Estimasi Beban Transformator menggunakan MAPE hasil evaluasi dapat dilihat pad tabel 16 sebagai berikut:

Tabel 16 Hasil Error MAPE Estimasi Beban Transformator GI Buduran

Trafo	Data Aktual Beban Trafo (MVA)	Hasil Estimasi Beban Trafo (MVA)	Error MAPE (%)
II	38,7	38,4	32
III	34,2	34,0	24
IV	39,7	39,5	23
V	10,4	10,2	23

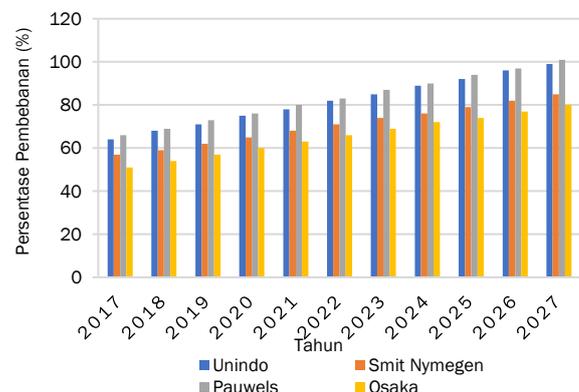
Berdasarkan Tabel 16 Nilai *error* estimasi beban transformator II sebesar 32%, Transformator III 24%, Transformator IV 23 %, dan Transformator V 23% nilai tersebut masih di kategorikan *Reasonable* (Layak).

2.2.4. Hasil kapasitas pembebanan transformator

Perhitungan kapasitas pembebanan transformator dapat menggunakan persamaan 5, pada penelitian ini pembebanan transformator didapat dari hasil peramalan beban transformator dibagi dengan kapasitas transformator, terpasang. Hasil Kapasitas pembebanan transformator dapat dilihat pada Tabel 17 sebagai berikut:

Tabel 17 Hasil Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027

Tahun	Transformator			
	Persentase Pembebanan (%)			
	II	III	IV	V
2017	64	57	66	51
2018	68	59	69	54
2019	71	62	73	57
2020	75	65	76	60
2021	78	68	80	63
2022	82	71	83	66
2023	85	74	87	69
2024	89	76	90	72
2025	92	79	94	74
2026	96	82	97	77
2027	99	85	101	80



Gambar 10 Grafik Persentase Pembebanan Transformator GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan tabel 17 dan Gambar 10 transformator II *overload* pada tahun 2022 dengan persentase pembebanan 82% dari kapasitas terpasang, transformator III *overload* pada tahun

2026 dengan persentase pembenanan 82% dari kapasitas terpasang, transformator IV *overload* pada tahun 2021 dengan persentase pembenanan 80% dari kapasitas terpasang, dan transformator V *overload* pada tahun 2027 dengan persentase pembenanan 80% dari kapasitas terpasang.

3 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian, korelasi antara pertumbuhan beban listrik golongan pelanggan Gardu Induk (GI) Buduran dengan sektor perekonomian pada data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) masing-masing sektor golongan pelanggan berkorelasi sangat kuat dan signifikan

Prakiraan beban tahun 2017 sampai 2027 per-golongan pelanggan GI Buduran diperkirakan akan terus naik pada setiap sektornya. Beban per-golongan pelanggan tersebut akan mempengaruhi pertumbuhan beban pada transformator di GI Buduran, dimana diestimasikan beban masing-masing transformator pada tahun 2017 sampai 2027 juga mengalami kenaikan, dengan akurasi estimasi menggunakan MAPE dalam kategori *re Reasonable* (Layak).

Berdasarkan hasil estimasi beban transformator, Kondisi kapasitas transformator GI Buduran akan mengalami *overload* pada rentan tahun 2017 s.d 2027, dimana pada transformator II *overload* pada tahun 2022, transformator III *overload* pada tahun 2026, transformator IV *overload* pada tahun 2021, dan transformator V *overload* pada tahun 2027 dengan beban mencapai 16,1 MVA (80%) dari kapasitas terpasang.

4 Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik (BPS) *Kabupaten Sidoarjo*. Kabupaten Sidoarjo Dalam Angka 2017. Sidoarjo: Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sidoarjo, 2017
- [2] Suswanto, D. Sistem Distribusi Tenaga Listrik untuk Mahasiswa Elektro, Edisi pertama. Padang: Universitas Negeri Padang, 2007
- [3] H.L.Willis, "Spatial Electric Load Forecasting: Spatial Load Forecasting in Developing Economies," in Marcel Dekker Inc, pp. 631-671, 2002.
- [4] PLN. SPLN 17:1979 Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak. Jakarta: PLN, 1979
- [5] M. Ferry, Sukma D.Y, dan Ervianto E. "Analisis Keberadaan dan Pengembangan Gardu Induk Distribusi 20 Kv di Kota Pekanbaru" jom FTEKNIK vol. 2 no. 2, Oktober 2015

- [6] Amral. N, Özveren. C, And King. D, "Short Term Load Forecasting using Multiple Linear Regression", UPEC – 1192, 2007
- [7] M. Syarifruddin, Lukmal. H Dikpride. D, "Metode Regresi Linier Untuk Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang (Studi Kasus Provinsi Lampung)", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, Vol: 1 (No. 2), 2014:<http://garuda.ristekdikti.go.id/journal/article/329982>
- [8] Jay, H., & Render, B. *Manajemen Operasi*. Jakarta: Selemba Empat, 2010
- [9] Haring, Jeffrey R. and Wasko, John A., "Probabilistic Inferences for the Sample Pearson Product Moment Correlation," *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, vol. 10, Iss. 2, Article 8, 2011.
- [10] Kurz A.K. and Mayo. S.T. *Statistical Method in Education and Psychology*. Springer Science & Business, LLC. Verlag-Berlin Heidelberg, New York, 1979
- [11] Sugiyono. *Statistika untuk Penelitian Cetakan Keduabelas*. Bandung : Alfabeta, 2000
- [12] Vanajakshi, L., & Rilett, I. R. A Comparison Of The Performance Of Artificial Neural Network And Support Vector Machines For The Prediction Of Traffic Speed. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 194-199, 2004
- [13] Yuan O, A.N. Afandi, H. Putranto, "Power Demand Forecasting Considering Actual Peak Load Using Artificial Neural Network," in *2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science, and Informatics (ICEECSI)*, 2018.
- [14] Gustriansyah, R. 2017. Analisis Metode Single Exponential Smoothing dengan Brown Exponential Smoothing pada Studi Kasus Memprediksi Kuantitatif Penjualan Produk Farmasi di Apotek. Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia 2017. Dari <http://researchgate.net/publication/31423752>
- [15] Bawan, E.K. "Estimasi Pembebanan Transformator Gardu Induk 150 KV", *Jurnal Ilmiah Foristek*, Vol: 3 (No. 2), 289-293. 2014 http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/FO_RISTEK/article/view/1618/1072