

Penambahan Gardu Distribusi Berdasarkan Pertumbuhan Beban Listrik Menggunakan GUI Matlab di Wilayah Tangerang

Adri Senen¹, Oktaria Handayani¹, dan Christine Widyastuti¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan & Energi Terbarukan,

Institut Teknologi PLN, Jakarta, Indonesia

adrisenen@itpln.ac.id, oktaria@itpln.ac.id, christine.widyastuti@itpln.ac.id

Abstrak

Perencanaan pengembangan sistem distribusi menjadi suatu yang sangat penting seiring dengan peningkatan kebutuhan beban listrik, dengan tetap memperhatikan sisi efisiensi penyaluran dan kualitas daya yang disalurkan ke konsumen. Penambahan jaringan distribusi tentunya akan mengakibatkan penambahan kapasitas dan jumlah transformator serta gardu distribusi. Oleh karena itu diperlukan perhitungan yang tepat untuk penentuan hal tersebut. Dalam penelitian ini, penambahan gardu distribusi didasarkan pada pemilihan *rating* trafo distribusi berdasarkan pertumbuhan bebannya. Pembebanan trafo distribusi dibuat maksimum 80 % dari *rating* kapasitasnya dengan model terdistribusi merata. Perhitungan penambahan Transformator distribusi memerlukan suatu pendekatan untuk menghubungkan total Transformator distribusi dan total gardu distribusi yaitu hasil rata-rata dari total Transformator distribusi dibagi dengan total gardu distribusi sehingga didapat nilai penambahan Gardu distribusi. Untuk merencanakan penambahan gardu distribusi memerlukan perhitungan yang cukup kompleks dan rumit. Agar perencanaan penambahan gardu distribusi menjadi lebih mudah, maka dapat menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) Matlab. Dengan adanya program GUI Matlab maka proyeksi untuk penambahan gardu induk dapat dilakukan dengan mudah, cepat dan juga tepat serta dapat diaplikasikan untuk wilayah manapun dengan lebih akurat. Berdasarkan hasil simulasi GUI didapatkan total penambahan kapasitas trafo untuk wilayah Tangerang adalah sebesar 1,6 MVA dengan penambahan gardu distribusi sebanyak 7 unit.

Kata kunci: pertumbuhan beban, gardu distribusi, transformator, *graphic user interface*

Abstract

Distribution system development Planning is very important in line with the increasing need for electricity loads, attention must be paid to quality of power delivered to consumers. The addition of a distribution network will certainly result in an increase in the capacity and number of transformers and distribution substations. The addition of distribution substations was based on the selection of distribution transformer ratings based on the growth of their load. The distribution transformer loading is made at a maximum of 80% with distributed model. Distribution transformers addition calculation requires an approach to connect the total distribution transformers and distribution substations, namely the average result of the total distribution transformers divided by the total distribution substations, it requires quite complex calculations. To make planning for adding distribution substations easier, you can use the Matlab Graphical User Interface (GUI). With the Matlab GUI program, projections for adding substations can be done easily, quickly, and precisely, and can be applied to any region more accurately. Based on the results of the GUI simulation, it was found that the total additional transformer capacity for the Tangerang area was 1.6 MVA with the addition of 7 distribution substations.

Keywords: load growth, distribution substation, transformer, *graphic user interface*

1. Pendahuluan

Gardu distribusi merupakan suatu komponen tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari tegangan menengah ke tegangan rendah. Jumlah gardu distribusi yang tersebar di suatu wilayah merupakan gambaran dari pola konsumsi listrik wilayah tersebut (Nnachi, Akumu, Richards, & Nicolae, 2018). Semakin banyak dan semakin tersebar nya gardu distribusi dapat menyatakan bahwa di wilayah tersebut memiliki kerapatan beban dan jumlah pelanggan yang mengonsumsi tenaga listrik tinggi. Salah satu peralatan yang terdapat di gardu distribusi adalah transformator distribusi. Transformator distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan menengah ke tegangan rendah (Firdaus, Penangsang, Soeprijanto, & Dimas Fajar, 2018) (Hertel et al., 2022). Semakin besar kebutuhan tenaga listrik, semakin besar juga penambahan transformator yang dibutuhkan. Seiring dengan bertambahnya unit transformator distribusi, maka berdampak juga terhadap penambahan gardu distribusi (Gde Made Yoga Semadhi Artha, 2019).

Info Makalah:

Dikirim : 02-08-23;

Revisi 1 : 03-08-23;

Diterima : 03-13-23.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 878-7179-4354

e-mail : adrisenen@itpln.ac.id

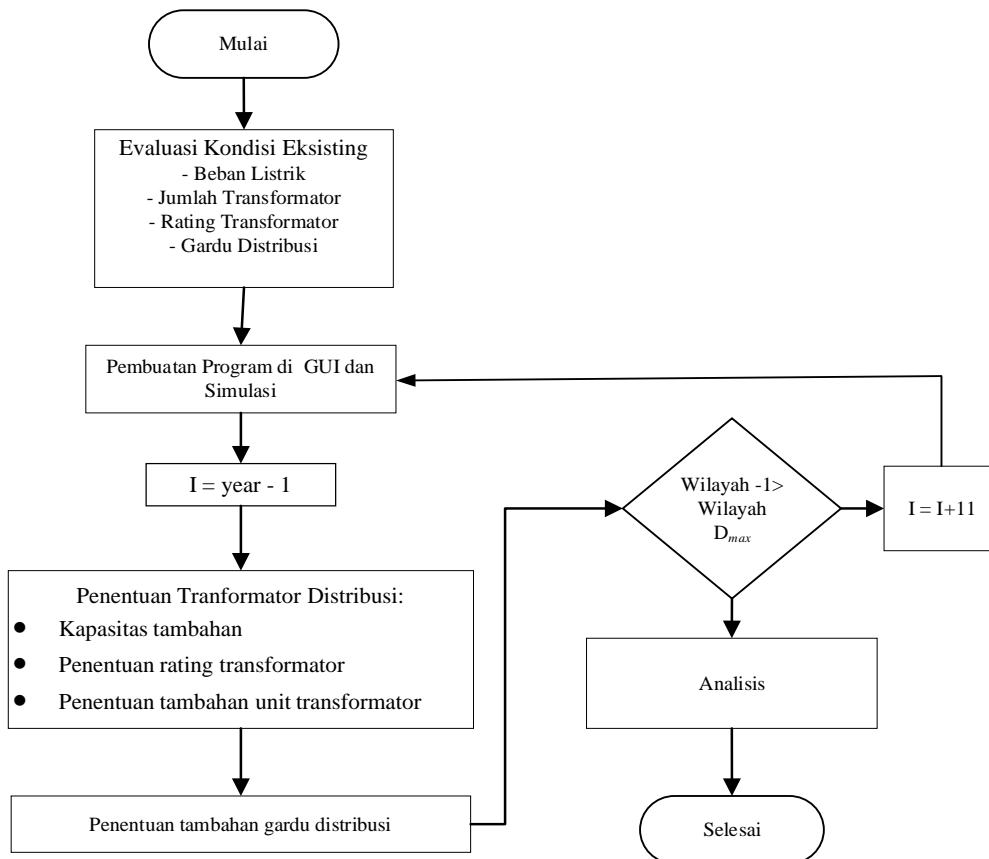
Wilayah urban menjadi ikon wilayah yang memiliki tingkat pertumbuhan ekonomi tinggi dengan mobilitas yang beragam. Hal tersebut berdampak pada kebutuhan tenaga listrik yang terus meningkat tiap tahunnya (Lekshmi & Subramanya, 2019) (Handayani, Senen, Widyastuti, & Sukma, 2021). Proses pendistribusian tenaga listrik harus dilakukan secara kontinu dan tetap

memperhatikan kualitas tenaga listrik. Namun di sisi lain, wilayah urban memiliki keterbatasan lahan yang dapat digunakan untuk penambahan jaringan tenaga listrik seperti penempatan gardu distribusi (Afrasiabi et al., 2020) (Gligor, Vlasa, Dumitru, Moldovan, & Damian, 2020). Perencanaan yang matang untuk penambahan gardu distribusi perlu dilakukan secara tepat dan terarah agar tetap efisien dan memperhatikan unsur kualitas tenaga listrik yang di pasok (S. Zhang, Wang, Zhang, Wang, & Zhang, 2020). Perencanaan penambahan gardu distribusi dilakukan berdasarkan kondisi eksisting di wilayah yang diuji, sebagai contoh dalam penelitian ini menggunakan area Tangerang (Senen, Widyastuti, Handayani, & Putera, 2021). Kondisi eksisting tersebut meliputi kebutuhan tenaga listrik, jumlah transformator dan jumlah gardu distribusi. Kebutuhan tenaga listrik yang semakin meningkat diproyeksikan terlebih dahulu selama 10 tahun berdasarkan pola pertumbuhan beban di suatu wilayah. Dari proyeksi pertumbuhan kebutuhan tenaga listrik selama periode 10 tahun tersebut, tahap selanjutnya yaitu memproyeksikan kebutuhan tambahan dari transformator dan juga gardu distribusi (Lekshmi & Subramanya, 2019) (S. Zhang et al., 2020). Penambahan transformator menyesuaikan standar SPLN yaitu pembebanan transformator distribusi tetap dijaga tidak melebihi 80% (McNeil, Karali, & Letschert, 2019). Penambahan transformator distribusi akan memberikan efek terhadap penambahan gardu distribusi.

Penyelesaian perencanaan tersebut dapat dipermudah dengan pengaplikasian GUI Matlab (Oulasvirta, Dayama, Shiripour, John, & Karrenbauer, 2020). GUI Matlab merupakan salah satu program yang ada di Matlab yang memiliki keunggulan *user friendly* karena tampilan dan penggunaannya yang mudah (Otong, 2019). Program yang dirancang di GUI Matlab tidak hanya dapat digunakan untuk penelitian ini, namun dapat juga diaplikasikan untuk membantu wilayah lain menentukan kebutuhan tenaga listrik, kapasitas tambahan transformator distribusi dan juga gardu distribusi. Dengan adanya program GUI ini, perencanaan gardu distribusi menjadi tepat dan efisien.

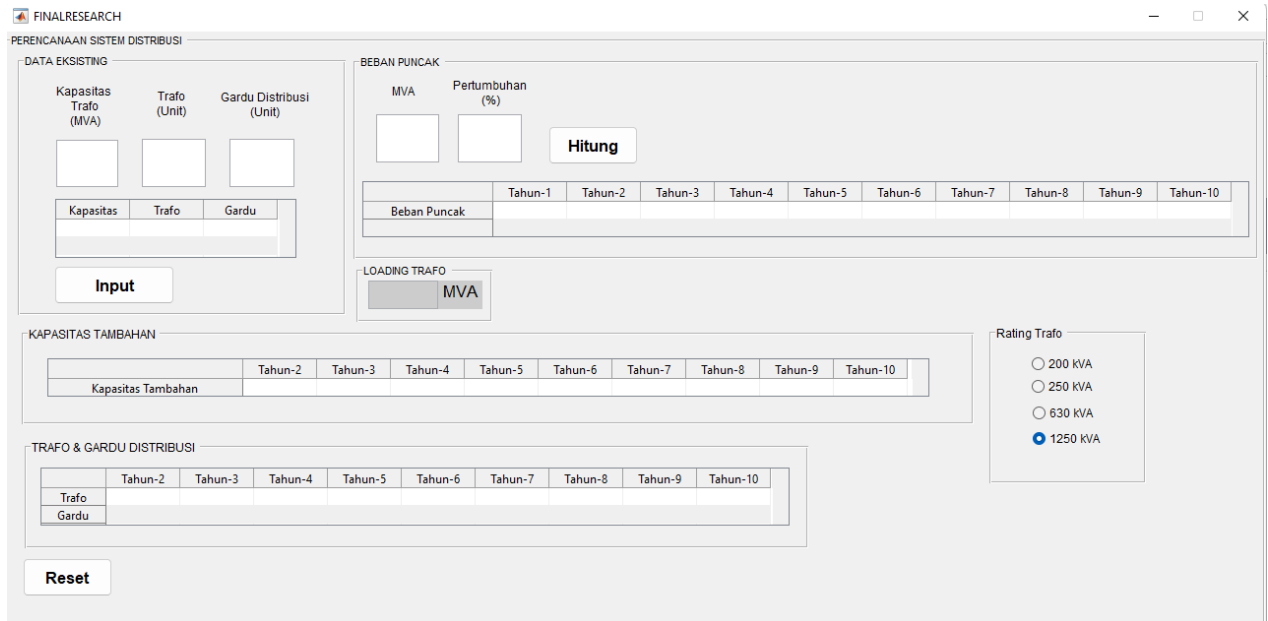
2. Metode

Proyeksi penambahan gardu distribusi dilakukan sebagai upaya penyediaan listrik mempertahankan kelancaran proses penyaluran tenaga listrik. Penambahan gardu distribusi dilakukan berdasarkan pertumbuhan beban listrik tiap tahunnya. Dengan adanya penambahan kapasitas tenaga listrik, maka akan mempengaruhi jumlah transformator dan gardu distribusi yang perlu dipersiapkan. Perencanaan tersebut akan lebih mudah dengan memanfaatkan GUI Matlab GUI Matlab merupakan singkatan dari *Graphical User Interface* Matlab yang merupakan suatu aplikasi display yang terdiri dari tugas, perintah, maupun komponen program yang dapat mempermudah pengguna dalam menjalankan suatu program (He & Li, 2020). Berikut ini merupakan alur penelitian.



Gambar 1. Alur Penelitian.

Di bawah ini merupakan sebuah tampilan desain *Graphical User Interface* (GUI) yang digunakan untuk melakukan suatu perhitungan perencanaan terhadap transformator dan gardu distribusi.



Gambar 2. GUI Matlab untuk Proyeksi Penambahan Gardu Distribusi.

2.1. Penentuan Kebutuhan Tenaga Listrik

Skema penentuan kebutuhan tenaga listrik merupakan tahap awal yang dilakukan, hal ini bertujuan untuk dapat memberikan gambaran seberapa besar kapasitas tenaga listrik yang perlu dipasok pada tahun – tahun mendatang. Hal tersebut juga akan berdampak pada analisis kondisi eksisting. Apakah kondisi eksisting untuk transformator distribusi dan gardu distribusi sanggup untuk melayani penambahan pasokan listrik sesuai dengan standar yang berlaku. Pada tahap ini, perencanaan kebutuhan tenaga listrik di proyeksikan selama 10 tahun berdasarkan dengan pertumbuhan beban listrik pada suatu wilayah.



Gambar 3. Pertumbuhan Kebutuhan Beban listrik.

2.2. Penentuan Transformator Distribusi

Penentuan transformator distribusi merupakan tindak lanjut dari penelitian ini. Sesuai SPLN, pembebanan transformator distribusi tidak boleh melebihi 80% dari kapasitas transformator distribusi. Hal ini dilakukan untuk menjaga *lifetime* dari transformator (Prakash, Islam, Mamun, & Pota, 2020). Penentuan transformator distribusi meliputi beberapa tahap yaitu:

- Penentuan Kapasitas Tambahan dari Transformator Distribusi

Pada tahap ini, data kondisi eksisting pembebanan transformator dijadikan sebagai acuan untuk mengetahui, bagaimana pembebanan transformator tiap tahun berdasarkan pertumbuhan kebutuhan tenaga listrik yang meningkat tiap tahunnya (Meng, 2022) (J. Zhang, Liu, Liu, Xu, & Kang, 2018). Jika pada saat tahun 2 dan seterusnya pembebanan transformator sudah melebihi 80% kapasitas transformator, maka perlu dilakukan penambahan transformator pada tahun tersebut. Secara matematis, perhitungan untuk menentukan besarnya kapasitas tambahan dari transformator distribusi adalah sebagai berikut :

$$kVA_{tambahan} = \left(\frac{MVA_{BP_{kel}}}{80\%} - MVA_{terpasang} \right) \cdot 1000 \quad (1)$$

- Penentuan *Rating* Kapasitas Transformator

Penentuan *rating* kapasitas transformator di penelitian ini dilakukan berdasarkan kondisi eksisting transformator distribusi. *Rating* kapasitas transformator yang di programkan di GUI bervariasi yaitu 200 kVA, 250 KVA, 630 kVA dan 1250 kVA.

- Penentuan Tambahan Unit Transformator Distribusi

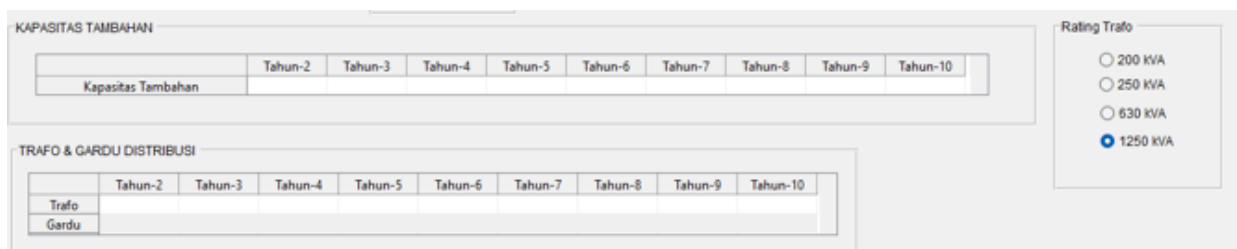
Tambahan Unit transformator distribusi dilakukan setelah transformator eksisting tidak mampu menampung beban atau sudah melebihi 80% kapasitas transformator distribusi (Dwiyoko, Sukisno, & Damarwan, 2020). Dengan mempertimbangkan *rating* transformator yang dipilih maka dapat ditentukan berapa unit tambahan unit transformator yang dibutuhkan tiap tahunnya menyesuaikan pertumbuhan kebutuhan tenaga listrik (Djamali, Tenbohlen, Junge, & Konermann, 2018) (Dwiyoko et al., 2020). Secara matematis, penentuan tambahan unit transformator distribusi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\Delta TD = \text{Roundup} \left(\frac{\left(\frac{MVA_{BP_kel}}{80\%} - MVA_{terpasang} \right) \cdot 1000}{kVA_{Rating_TD}} \right) \quad (2)$$

2.3. Penentuan Gardu Distribusi

Tahap selanjutnya merupakan tahap penentuan gardu distribusi. Seiring dengan dilakukannya penambahan transformator distribusi, tentunya berdampak juga terhadap penambahan gardu distribusi yang disesuaikan dengan transformator dan gardu pada data eksisting di wilayah tersebut (Sbravati, Oka, Maso, & Valmus, 2018). Secara matematis, untuk menghitung jumlah gardu distribusi tambahan dapat menggunakan rumus:

$$RTPG = \frac{TD}{GD} \quad (3)$$



Gambar 4. Tampilan GUI untuk Penentuan Transformator dan Gardu Distribusi.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini merupakan sampel kondisi eksisting Wilayah Tangerang yang memiliki 119 kelurahan, kondisi eksisting tersebut melingkupi beban puncak, jumlah transformator, pembebanan transformator, jumlah gardu distribusi yang disajikan pada tabel 1 berikut ini :

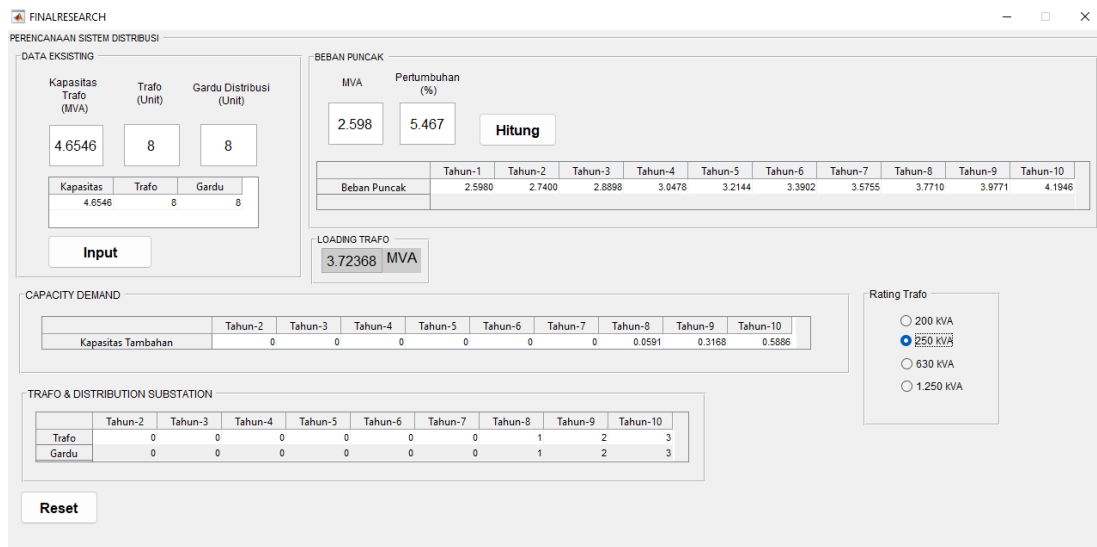
Tabel 1. Pertumbuhan Beban Listrik.

Kelurahan	Pertumbuhan beban listrik Tahun ke – (MVA)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Belendung	0,88	0,92	0,97	1,02	1,08	1,15	1,22	1,30	1,40	1,50
Bunder	25,48	26,67	28,01	29,52	31,20	33,10	35,23	37,62	40,30	43,31
Cibadak	11,64	12,18	12,79	13,48	14,25	15,12	16,09	17,18	18,41	19,78
Talaga	28,85	30,19	31,71	33,41	35,32	37,47	39,88	42,59	45,62	49,03
Cisoka	14,15	14,81	15,56	16,39	17,33	18,38	19,56	20,89	22,38	24,05
Bojong	17,07	17,86	18,76	19,77	20,90	22,17	23,59	25,19	26,99	29,00
Rajeg	15,84	16,58	17,42	18,35	19,40	20,58	21,90	23,39	25,06	26,93
Solear	23,50	24,60	25,84	27,22	28,78	30,53	32,49	34,70	37,17	39,94
Cikande	19,54	20,45	21,48	22,63	23,93	25,38	27,01	28,85	30,90	33,21
Pinang	0,75	0,78	0,82	0,86	0,91	0,97	1,03	1,10	1,18	1,27

Tabel 2. Kondisi Eksisting.

Kelurahan	Jumlah Transformator (Unit)	Pembebanan Transformator (%)	Rating Transformator (MVA)	Jumlah Gardu Distribusi (Unit)
Belendung	3	55,8	250	3
Bunder	76	55,8	250	70
Cibadak	34	55,8	250	32
Talaga	85	55,8	250	78
Cisoka	42	55,8	250	39
Bojong	57	55,8	250	47
Rajeg	47	55,8	50	44
Solear	70	55,8	250	65
Cikande	58	55,8	250	54
Pinang	2	55,8	250	2

Dari data eksisting tersebut maka dilakukan simulasi untuk memperkirakan pertumbuhan kebutuhan tenaga listrik tiap tahun sampai periode 10 tahun. Berikut ini merupakan contoh tampilan hasil simulasi GUI untuk kelurahan Rawakalong.



Gambar 5. Hasil Simulasi GUI.

Berikut ini merupakan sampel perhitungan untuk tahun ke 8 kelurahan Belendung mulai dari perhitungan pembebanan transformator, kapasitas tambahan, jumlah transformator tambahan dan tambahan gardu distribusi menggunakan persamaan (1), (2) dan (3). Data-data berikut didapatkan dari tabel 1 dan tabel 2 di atas. Tahun ke 8 dipilih karena pembebanan transformator pada tahun ke 8 sudah lebih dari 80%.

- Beban puncak = 1.30 MVA
Pembebanan Transformator = $\frac{1.30}{1.58} \times 100\% = 82,40\%$ (Pembebanan >80%)
- Kapasitas Tambahan = $\left(\frac{MVA_{BP_Kel}}{80\%} - MVA_{terpasang}\right) \cdot 1000$
= $\left(\frac{1.30}{80\%} - 1.580\right) \cdot 1000$
= 47,48 kVA = 0,04 MVA
- ΔTD_8
= $\text{Roundup}\left(\frac{\left(\frac{MVA_{BP_Kel}}{80\%} - MVA_{terpasang}\right) \cdot 1000}{kVA_{Rating_TD}}\right) - \Delta TD_7$
= $\text{Roundup}\left(\frac{\left(\frac{1.30}{80\%} - 1.580\right) \cdot 1000}{0.25}\right) - 0$
= 1

$$\begin{aligned} \bullet \Delta GD_{kel} &= Roundup\left(\frac{TD_{eksist} + \Delta TD}{\frac{TD_{AJ}}{GD_{AJ}}}\right) - GD_{eksist} \\ &= Roundup\left(\frac{3 + 1}{\frac{3}{3}}\right) - 3 \\ &= 1 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan menginputkan sampel 10 kelurahan yang ada di wilayah Tangerang dari total 119 kelurahan maka didapatkan hasil seperti pada tabel berikut ini:

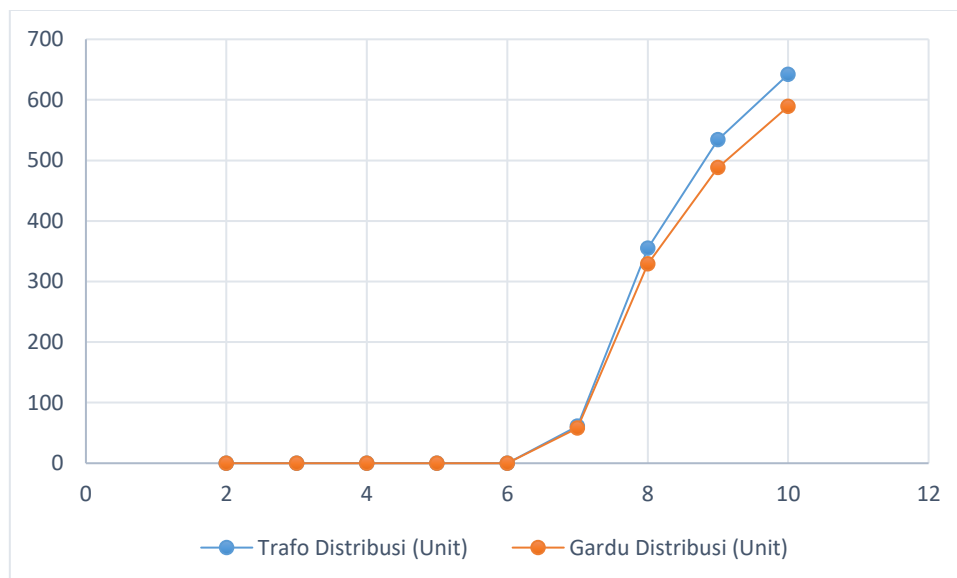
Tabel 3. Hasil Perhitungan dengan Simulasi GUI.

Kelurahan	Parameter	1	8	9	10
Belendung	Beban Puncak (MVA)	0,88	1,30	1,4	1,5
	Kapasitas Tambahan Transformator (MVA)	0	0,04	0,16	0,29
	Pembebanan Transformator (%)	55,8	82,4	88,3	94,9
	Tambahan Transformator (Unit)	0	1	0	1
	Tambahan Gardu (Unit)	0	1	0	1
Bunder	Beban Puncak (MVA)	25,5	42,3	46,3	51
	Kapasitas Tambahan Transformator (MVA)	0	1,4	4,7	8,5
	Pembebanan Transformator (%)	55,8	82,4	88,3	94,8
	Tambahan Transformator (Unit)	0	6	13	15
	Tambahan Gardu (Unit)	0	6	12	13
Cibadak	Beban Puncak (MVA)	11,6	19,3	21,2	23,3
	Kapasitas Tambahan Transformator (MVA)	0	0,6	2,2	3,9
	Pembebanan Transformator (%)	55,8	82,4	88,3	94,8
	Tambahan Transformator (Unit)	0	3	6	7
	Tambahan Gardu (Unit)	0	2	6	6
Talaga	Beban Puncak (MVA)	28,8	47,8	52,4	57,7
	Kapasitas Tambahan Transformator (MVA)	0	1,5	5,3	9,6
	Pembebanan Transformator (%)	55,8	82,4	88,3	94,8
	Tambahan Transformator (Unit)	0	7	15	17
	Tambahan Gardu (Unit)	0	7	14	15
Cisoka	Beban Puncak (MVA)	14,2	23,5	25,7	28,3
	Kapasitas Tambahan Transformator (MVA)	0	0,8	2,6	4,7
	Pembebanan Transformator (%)	55,8	82,4	88,2	94,8
	Tambahan Transformator (Unit)	0	4	7	8
	Tambahan Gardu (Unit)	0	4	6	7
Bojong	Beban Puncak (MVA)	17,1	28,3	31	34,2
	Kapasitas Tambahan Transformator (MVA)	0	0,9	3,2	5,7
	Pembebanan Transformator (%)	55,8	82,4	88,3	94,9
	Tambahan Transformator (Unit)	0	4	9	10
	Tambahan Gardu (Unit)	0	4	8	9
Rajeg	Beban Puncak (MVA)	15,8	26,3	28,8	31,7
	Kapasitas Tambahan Transformator (MVA)	0	0,8	2,9	5,3
	Pembebanan Transformator (%)	55,8	82,4	88,2	94,8
	Tambahan Transformator (Unit)	0	4	8	10
	Tambahan Gardu (Unit)	0	3	8	9
Solear	Beban Puncak (MVA)	23,5	39	42,7	47
	Kapasitas Tambahan Transformator (MVA)	0	1,3	4,3	7,8
	Pembebanan Transformator (%)	55,8	82,4	88,3	94,8
	Tambahan Transformator (Unit)	0	6	12	14
	Tambahan Gardu (Unit)	0	5	11	13
Cikande	Beban Puncak (MVA)	19,5	32,4	35,6	39,1
	Kapasitas Tambahan Transformator (MVA)	0	1,1	3,6	6,5
	Pembebanan Transformator (%)	55,8	82,4	88,3	94,9
	Tambahan Transformator (Unit)	0	5	10	11
	Tambahan Gardu (Unit)	0	4	9	10
Pinang	Beban Puncak (MVA)	0,7	1,2	1,4	1,5
	Kapasitas Tambahan Transformator (MVA)	0	0,1	0,1	0,2
	Pembebanan Transformator (%)	55,8	82,4	88,3	94,9
	Tambahan Transformator (Unit)	0	1	0	0
	Tambahan Gardu (Unit)	0	1	0	0

Berdasarkan hasil simulasi, kebutuhan tenaga listrik tiap tahun semakin meningkat berdasarkan pertumbuhan beban tiap tahunnya, Pada tahun ke 2 sampai tahun ke 10, rata-rata tiap kelurahan belum membutuhkan adanya penambahan transformator maupun gardu distribusi, Hal ini dikarenakan transformator eksisting masih mampu menopang pertumbuhan beban listrik, penambahan transformator dan gardu distribusi dilakukan pada tahun ke 8, 9 dan 10 karena pembebanan transformator sudah tidak sesuai dengan SPLN 50:1997 yaitu pembebanan transformator distribusi tidak boleh melebihi 80%, Sejalan dengan penambahan transformator, maka sesuai dengan rumus (3), Maka gardu distribusi juga ikut bertambah, Pemanfaatan GUI Matlab mampu mempercepat proses perencanaan proyeksi penambahan gardu distribusi. Program GUI Matlab yang dikembangkan, tidak hanya dapat dimanfaatkan untuk wilayah Tangerang saja, namun program ini dapat mengakomodir kebutuhan tiap wilayah dalam melakukan perencanaan kebutuhan transformator dan gardu induk berdasarkan pertumbuhan beban dan kondisi eksisting.

Tabel 4. Rekapitulasi Penambahan Transformator dan Gardu Distribusi.

Tahun ke -	Trafo Distribusi (Unit)	Gardu Distribusi (Unit)
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	61	58
8	355	329
9	534	488
10	642	589



Gambar 6. Grafik Penambahan Transformator dan Gardu Distribusi sampai Tahun Ke 10.

Dari hasil simulasi dengan menggunakan rumus (1), (2) dan (3) diketahui bahwa sampai tahun ke 10, untuk total wilayah Tangerang membutuhkan total tambahan transformator distribusi sebanyak 642 unit dengan sebaran *rating* transformator 200 kVA, 250 kVA, 630 kVA dan 1250 kVA serta memerlukan tambahan gardu distribusi sebanyak 589 unit yang tersebar ke 119 kelurahan di wilayah Tangerang.

Kesimpulan

Proyeksi penambahan transformator dan gardu distribusi sangat perlu dilakukan agar penyaluran tenaga listrik tidak terganggu mengingat kebutuhan akan tenaga listrik yang semakin berkembang terutama di wilayah urban yang memiliki mobilitas dan pertumbuhan ekonomi yang tinggi. Perencanaan ini dilakukan berdasarkan kondisi eksisting seperti pertumbuhan beban, beban puncak, jumlah transformator, *rating* transformator dan juga jumlah gardu induk. Kondisi eksisting tersebut dijadikan input untuk menjalankan simulasi di GUI Matlab. Dengan memanfaatkan GUI Matlab dapat mempercepat proses perhitungan dan GUI Matlab merupakan fitur yang mudah untuk dipahami pengguna. Program ini mampu diaplikasikan di wilayah manapun untuk membantu melakukan proyeksi kebutuhan gardu distribusi. Berdasarkan hasil simulasi sampai tahun ke 10, wilayah Tangerang memerlukan tambahan transformator distribusi sebanyak 642 unit dan gardu distribusi sebanyak 589 unit.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi PLN dengan kontrak penelitian adalah Nomor: 0330/SK/1/A0/11/2021

Daftar Notasi

$kVA_{tambahan}$	= Kapasitas tambahan transformator
$MVA_{BP_{kel}}$	= Kapasitas beban puncak suatu wilayah
$MVA_{terpasang}$	= Kapasitas Transformator terpasang
$MVA_{BP_{kel}}$	= Kapasitas beban puncak suatu wilayah
$MVA_{terpasang}$	= Kapasitas Transformator terpasang
$kVA_{Rating_{TD}}$	= Rating transformator eksisting
TD	= Jumlah transformator distribusi
GD	= Jumlah gardu distribusi

Daftar Pustaka

- Afrasiabi, M., Mohammadi, M., Rastegar, M., Stankovic, L., Afrasiabi, S., & Khazaei, M. (2020). Deep-Based Conditional Probability Density Function Forecasting of Residential Loads. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11(4), 3646–3657. <https://doi.org/10.1109/TSG.2020.2972513>
- Djamali, M., Tenbohlen, S., Junge, E., & Konermann, M. (2018). Real-Time Evaluation of the Dynamic Loading Capability of Indoor Distribution Transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33(3), 1134–1142. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2017.2728820>
- Dwiyoiko, G., Sukisno, T., & Damarwan, E. S. (2020). Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Kabupaten Purbalingga Tahun 2030 Menggunakan Software Leap. *Jurnal Edukasi Elektro*, 4(1), 29–40. <https://doi.org/10.21831/jee.v4i1.32043>
- Firdaus, A. A., Penangsang, O., Soeprijanto, A., & Dimas Fajar, U. P. (2018). Distribution network reconfiguration using binary particle swarm optimization to minimize losses and decrease voltage stability index. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 7(4), 514–521. <https://doi.org/10.11591/eei.v7i4.821>
- Gde Made Yoga Semadhi Artha, I. (2019). Transformer's Load Forecasting to Find the Transformer Usage Capacity with Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Method. *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.11648/j.jeee.20190701.11>
- Gligor, A., Vlasa, I., Dumitru, C.-D., Moldovan, C. E., & Damian, C. (2020). Power Demand Forecast for Optimization of the Distribution Costs. *Procedia Manufacturing*, 46, 384–390. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.056>
- Handayani, O., Senen, A., Widyastuti, C., & Sukma, D. Y. (2021). Micro-Spatial Electricity Planning in Urban Area Based on Energy Demand. *2021 3rd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems, ICHVEPS 2021*, 155–160. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS53178.2021.9601086>
- He, S., & Li, P. (2020). A MATLAB based graphical user interface (GUI) for quickly producing widely used hydrogeochemical diagrams. *Chemie Der Erde*, 80(4). <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2019.125550>
- Hertel, M., Ott, S., Neumann, O., Schäfer, B., Mikut, R., & Hagenmeyer, V. (2022). *Transformer Neural Networks for Building Load Forecasting*. (December), 0–7. Retrieved from <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/ElectricityLoadDiagrams20112014>
- Lekshmi, M., & Subramanya, K. N. A. (2019). Short-Term Load Forecasting of 400kV Grid Substation Using R-Tool and Study of Influence of Ambient Temperature on the Forecasted Load. *2019 Second International Conference on Advanced Computational and Communication Paradigms (ICACCP)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICACCP.2019.8883005>
- McNeil, M. A., Karali, N., & Letschert, V. (2019). Forecasting Indonesia's electricity load through 2030 and peak demand reductions from appliance and lighting efficiency. *Energy for Sustainable Development*, 49, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.01.001>
- Meng, Z. (2022). *Bagging Based Multi-Source Learning and Transfer Regression for Electricity Load Forecasting*. 49(2).
- Nnachi, G. U., Akumu, A. O., Richards, C. G., & Nicolae, D. V. (2018). Estimation of no-Load Losses in Distribution Transformer Design Finite Element Analysis Techniques in Transformer Design. *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2018*, 527(1), 527–531. <https://doi.org/10.1109/PowerAfrica.2018.8521142>
- Otong, M. (2019). Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Menggunakan Algoritma Genetika di Interkoneksi Penyulang Pakupatan dan Palima pada Beban Prioritas untuk Mengurangi Rugi Daya dan Jatuh Tegangan. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 8(2), 158. <https://doi.org/10.36055/setrum.v8i2.6796>
- Oulasvirta, A., Dayama, N. R., Shiripour, M., John, M., & Karrenbauer, A. (2020). Combinatorial Optimization of Graphical User Interface Designs. *Proceedings of the IEEE*, 108(3), 434–464.

- <https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.2969687>
- Prakash, K., Islam, F. R., Mamun, K. A., & Pota, H. R. (2020). Configurations of Aromatic Networks for Power Distribution System. *Sustainability*, 12(10), 4317. <https://doi.org/10.3390/su12104317>
- Sbravati, A., Oka, M. H., Maso, J. A., & Valmus, J. (2018). Enhancing Transformers Loadability for Optimizing Assets Utilization and Efficiency. *2018 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC)*, (June), 144–149. <https://doi.org/10.1109/EIC.2018.8481063>
- Senen, A., Widyastuti, C., Handayani, O., & Putera, P. (2021). Development of micro-spatial electricity load forecasting methodology using multivariate analysis for dynamic area in tangerang, indonesia. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 29(4), 2565–2578. <https://doi.org/10.47836/PJST.29.4.18>
- Zhang, J., Liu, K., Liu, G., Xu, B., & Kang, Y. (2018). Research on the Influence of Primary Load Imbalance on the Combined Transformer's Error. *2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, (201804270000511), 1504–1511. <https://doi.org/10.1109/POWERCON.2018.8602069>
- Zhang, S., Wang, Y., Zhang, Y., Wang, D., & Zhang, N. (2020). Load probability density forecasting by transforming and combining quantile forecasts. *Applied Energy*, 277, 115600. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115600>