

Kriteria Desain Sistem Jaringan Distribusi Untuk Evaluasi Kondisi Eksisting Kelistrikan Suatu Wilayah

Christine Widyastuti¹; Adri Senen²; Oktaria Handayani³

^{1, 2, 3} Jurusan Teknik Elektro, ITPLN

¹ christine.widyastuti@itpln.ac.id

ABSTRACT

The presence of a good distribution system planning that meets the appropriate technical standards and criteria defines the quality of electrical energy. Although the distribution system's initial design matched these service quality standards, as the load grows, the quality characteristics in the field can change, so it is necessary to evaluate the condition of the quality of the supply. This assessment is becoming increasingly crucial in terms of future system development planning to produce a high-quality, dependable, and efficient distribution system. Voltage drop, feeder, and distribution system dependability are among the design criteria used in this study. The determination of these design criteria is expected to be used as reference material by the distribution system manager to achieve a level of service quality that meets applicable standards based on the condition of the existing system, predictions of load development, and regional development in a service area. The percentage of voltage decreases ranges from 1 to 12.7 percent, with feeder loads ranging from 50.5 percent to 96.2 percent, and the SAIFI reliability index value of 3.86 times per year, and the SAIDI value of 16.23 hours per year.

Keywords: Distribution system, Design criteria, Evaluation, network

ABSTRAK

Faktor yang menentukan kualitas energi listrik adalah adanya perencanaan sistem distribusi yang baik yang memenuhi standar dan kriteria teknis yang berlaku. Meskipun desain awal sistem distribusi telah memenuhi standar kualitas pelayanan tersebut, dengan adanya perkembangan beban yang terus meningkat, parameter kualitas yang terjadi di lapangan dapat mengalami perubahan, sehingga perlu adanya evaluasi kondisi kualitas pensuplaian tersebut. Evaluasi ini semakin penting dalam kaitannya dengan kebutuhan untuk perencanaan pengembangan sistem ke masa depan untuk mencapai sistem distribusi dengan kualitas yang tinggi, andal dan efisien. Adapun kriteria desain yang dirancang dalam penelitian ini meliputi jatuh tegangan, dan penyulang serta keandalan sistem distribusi. Penentuan kriteria desain ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan acuan oleh pengelola sistem distribusi dalam rangka mencapai tingkat kualitas pelayanan yang memenuhi standar yang berlaku dengan didasarkan pada kondisi sistem eksisting, prediksi perkembangan beban, dan pengembangan wilayah pada suatu area pelayanan. Hasil evaluasi menunjukkan persentase jatuh tegangan berkisar antara 1 % - 12,7% , pembebanan penyulang berada pada nilai 50,5 % - 96,2 % , dengan nilai indeks keandalan SAIFI mecapai 3,86 kali/tahun dan nilai SAIDI 16,23 jam/tahun

Kata kunci: Sistem Distribusi, Kriteria Desain, Evaluasi, Jaringan

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring meningkatnya kesejahteraan dan kemajuan masyarakat. Perkembangan kebutuhan energi listrik yang cukup besar juga disebabkan oleh peningkatan jumlah dan kebutuhan industri untuk menopang proses produksinya. Perkembangan permintaan ini juga harus diimbangi dengan peningkatan sumber pembangkit energi listrik dan kemampuan infrastruktur yang mendukung penyaluran dan pendistribusian energi listrik, mulai dari pembangkit, GI sampai ke konsumen [1]. Ketimpangan pada satu komponen sistem tenaga listrik tersebut akan berdampak pada kualitas pensuplaian energi ke konsumen yang tidak sesuai standar yang berlaku.

PT. PLN (Persero) sebagai bagian yang mengelola sistem distribusi memiliki andil yang sangat besar dalam menjamin tercapainya kualitas pelayanan teknis maupun non teknis yang baik kepada konsumen atau pelanggan. Kualitas pelayanan teknis ditunjukkan dengan terpenuhinya parameter - parameter kualitas energi listrik seperti besaran tegangan, frekuensi, faktor daya dan indeks keandalan yang sesuai dengan standar yang berlaku, baik secara nasional maupun internasional [2]. Disamping terpenuhinya kualitas teknis di atas yang ditujukan kepada konsumen, sistem juga harus memenuhi syarat lain terkait dengan operasi sistem yang ekonomis yang berkaitan dengan kepentingan perusahaan pensuplai energi.[3]

Faktor yang menentukan kualitas energi listrik adalah adanya perencanaan sistem distribusi yang baik yang memenuhi standar dan kriteria teknis yang berlaku. Sistem distribusi tenaga listrik di suatu wilayah pada awalnya didesain berdasarkan standar Chas. T. Main dari Amerika. Meskipun desain awal sistem distribusi telah memenuhi standar kualitas pelayanan tersebut, dengan adanya perkembangan beban yang terus meningkat, parameter kualitas yang terjadi di lapangan dapat mengalami perubahan, sehingga perlu adanya evaluasi kondisi kualitas pensuplaian tersebut. Evaluasi ini semakin penting dalam kaitannya dengan kebutuhan untuk perencanaan pengembangan sistem ke masa depan [4]. Perencanaan pengembangan sistem dimaksudkan sebagai bahan acuan oleh pengelola sistem distribusi dalam rangka mencapai tingkat kualitas pelayanan yang memenuhi standar yang berlaku dengan didasarkan pada kondisi sistem eksisting, prediksi perkembangan beban, dan pengembangan wilayah pada suatu area pelayanan. Perencanaan pengembangan ini tetap mengacu pada standar atau kriteria desain yang dipakai oleh PT. PLN (Persero)[5]

Diharapkan Kriteria desain jaringan distribusi dapat dijadikan patokan dalam mengembangkan jaringan distribusi sehingga diperoleh tingkat keandalan dan efisiensi distribusi yang optimal. Kriteria Desain untuk Jaringan Distribusi meliputi Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Gardu Distribusi, Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah/Pelayanan.[6][7]

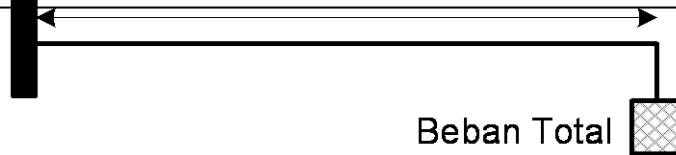
2. METODE PENELITIAN

2.1. Kriteria Desain Jatuh Tegangan

Evaluasi sistem distribusi dapat dilakukan dengan cara langsung, yaitu dari hasil pengumpulan data, sistem dievaluasi atas dasar kriteria yang telah ditentukan, misalnya: panjang jaringan maksimum yang diijinkan, tegangan di jaringan yang masih dalam kisaran yang diijinkan.[8]

Untuk mengevaluasi turun tegangan pada masing-masing penyulang digunakan rumus :

$$(1) \quad \%VD = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_L \cdot s \cdot K \cdot 10^{-3} \quad K = \frac{z \cdot 100}{V_{L-L}^2} \quad z = \sqrt{r^2 + x^2}$$

**Gambar 1.** Total Beban Jaringan

Dimana :

V_{L-L} = Tegangan antar fasa (kV)

I_L = Arus fasa main feeder (A)

r = Resistansi main feeder (Ω/Km)

x = Reaktansi main feeder (Ω/Km)

s = panjang ekivalen main feeder (Km)

- Radial (SUTM) $s = 2/3 L$ atau $s = 1/3 L$

- Spindel $s = 1/2 L$

L = Panjang aktual main feeder (Km)

2.2. Kriteria Keandalan Jaringan Distribusi

Perhitungan tingkat keandalan pada sistem distribusi mengacu pada SPLN, yang ditentukan oleh indeks frekuensi pemadaman rata-rata dan indeks lama pemadaman rata-rata. Indeks frekuensi pemadaman rata-rata dihitung berdasarkan angka keluar dari masing-masing komponen yang digunakan pada sistem penyulang sedangkan indeks pemadaman rata-rata dihitung menurut waktu operasi kerja dan pemulihan pelayanan masing-masing komponen keluar yang digunakan pada setiap sistem penyulang.[9][10]

Tabel 1. Daftar angka keluar masing-masing komponen sistem distribusi

Komponen	Angka Keluar
Saluran Udara	0,20 /km/th
Kabel Saluran Bawah Tanah	0,07 /km/th
Pemutus Tenaga	0,004 /unit/th
Sakelar Beban	0,003 /unit/th
Sakelar Pisah	0,003 /unit/th
Penutup Balik	0,005 /unit/th
Trafo Distribusi	0,005 /unit/th
Pelindung Jaringan	0,005 /unit/th
Rel Tegangan Rendah	0,001 /unit/th

Tabel 2. Daftar waktu operasi kerja dan pemulihan pelayanan komponen

Operasi Kerja	Waktu (jam)	Keterangan
A	0,5	Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke GI
B	0,16	Waktu yang dibutuhkan untuk sampai sari satu gardu ke gardu berikutnya
C	0,083	Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa indikator gangguan (sistem spindle)
D	0,25	Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup pemutus tenaga atau penutup kembali

E	0,15	Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban atau sakelar pisah
F	3	Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kawat penghantar udara
G	5	Waktu yang dibutuhkan untuk mencari lokasi gangguan pada kabel bawah tanah
H	10	Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kabel saluran bawah tanah
I	10	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki pemutus tenaga, sakelar beban, penutup kembali atau sakelar pisah
J	15	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel (bulusan) untuk kabel yang berisolasi kertas
K	10	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti trafo distribusi
L	10	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti pelindung jaringan
M	10	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki bus tegangan rendah

2.2.1. Indeks Frekuensi Pemadaman Rata-rata (SAIFI)

Untuk menghitung frekuensi pemadaman diperlukan tabel perkiraan angka keluar komponen sistem distribusi [11], dengan rumus:

$$f = \sum_{i=1}^n C_i \cdot X_i \cdot \lambda_i \quad (\text{pemadaman/tahun})$$

(2)

Dimana: C_i : Jumlah konsumen ke-i perunit yang mengalami pemadaman.
 X_i : Panjang penyulang atau unit komponen ke-i.
 λ_i : Angka keluar komponen ke-i yang menyebabkan pemadaman.

2.2.2. Indeks Lama Pemadaman Rata-rata (SAIDI)

Untuk menghitung lama pemadaman per tahun diperlukan tabel waktu operasi kerja dan pemulihan pelayanan masing-masing komponen sistem distribusi [12], dengan rumus:

$$d = \sum_{i=1}^n X_i \cdot \lambda_i \cdot C_i \cdot \left(\sum_{j=1}^m t_{ij} \right) = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \left(\sum_{j=1}^m t_{ij} \right) \quad (\text{jam/tahun})$$

(3)

Dimana:

t_{ij} : waktu yang diperlukan untuk komponen ke-i langkah ke-j untuk operasi kerja dan pemulihan pelayanan

2.3. Kriteria Pembebanan

Evaluasi pembebanan trafo distribusi dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini :

$$\% \text{Pembebanan}_{TD} = \frac{\text{Beban puncak TD}}{kVA_{TD}} \times 100\% \quad (4)$$

Kelompok pembebanan adalah sebagai berikut[13] :

1. Pembebanan ringan, pembebanan dibawah 40 %
2. Pembebanan sedang, pembebanan antara 40% sampai dengan 80%
3. Pembebanan berat, pembebanan diatas 80%

Evaluasi pembebanan penyulang dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini :

$$\% \text{Pembebanan Penyulang} = \frac{\text{Beban puncak Penyulang}}{\text{Kapasitas Penyulang}} \times 100\% \quad (5)$$

Sama halnya dengan pembebanan trafo, pembebanan penyulang dibagi menjadi kelompok pembebanan sebagai berikut :[14][15]

1. Pembebanan ringan, pembebanan dibawah 40 %
2. Pembebanan sedang, pembebanan antara 40% sampai dengan 70%
3. Pembebanan berat, pembebanan diatas 70%

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Area Jaringan Tangerang memiliki 18 buah Gardu Induk, 40 trafo dengan kapasitas 2400 MVA dan mempunyai 421 penyulang. Dengan menggunakan metoda yang telah diuraikan diatas, kondisi eksisting untuk AJ Tangerang dapat dikelompokkan ke dalam :

1. Evaluasi turun tegangan pada masing-masing penyulang
2. Evaluasi pembebanan penyulang
3. Evaluasi keandalan dari masing-masing penyulang

3.1. Evaluasi Jatuh Tegangan Penyulang

Jatuh tegangan yang terjadi dipenyulang berdasarkan kriteria yang ditentukan maka akan terkelompok menjadi 3 buah yaitu berat, sedang dan ringan. Adapun Hasil perhitungan drop tegangan penyulang terlihat pada tabel 3 yang telah diurutkan berdasarkan drop tegangan dari besar ke kecil.

Tabel 3. Jatuh tegangan penyulang dengan kriteria berat dan sedang

Nama Gardu Induk 20 kV	Nama Penyulang Keluar GI	Panjang Kbl / Penyulang (m)	Beban Maks Penyulang (MVA)	Turun Tegangan Main Feeder	
				Persentase	Keterangan
Tiga raksa	Keras	20,582	8.49	10.2%	Berat
Legok	Bebet	53,688	6.41	8.0%	Berat
Maximangando	Bor	16,658	8.14	7.9%	Berat
Cengkareng	Anggur	13,826	7.10	5.7%	Berat
Bala raja	Begawan	24,482	7.97	4.5%	Berat
New tangerang	Usap	8,419	8.66	4.3%	Sedang
Lengkong	Imla	7,763	9.01	4.1%	Sedang
Citra habitat	Jangkrik	10,539	5.89	3.6%	Sedang
Cikupa	Ratu	8,965	6.75	3.5%	Sedang
Duri kosambi	Oase	11,255	5.20	3.4%	Sedang

Drop tegangan maksimum pada jaringan tegangan menengah yang dibolehkan sesuai dengan ketentuan drop tegangan sebesar 2% dari tegangan nominal untuk sistem spindel dan gugus, drop tegangan sebesar 5% dari tegangan nominal untuk sistem radial di atas tanah dan sistem simpul dan drop tegangan pada transformator distribusi dibolehkan 3% dari tegangan nominal.

3.2. Evaluasi Pembebanan Penyulang

Hasil pembebanan penyulang dapat dilihat pada tabel 4 yang telah diurutkan berdasarkan kapasitas pembebanan, sebagai berikut:

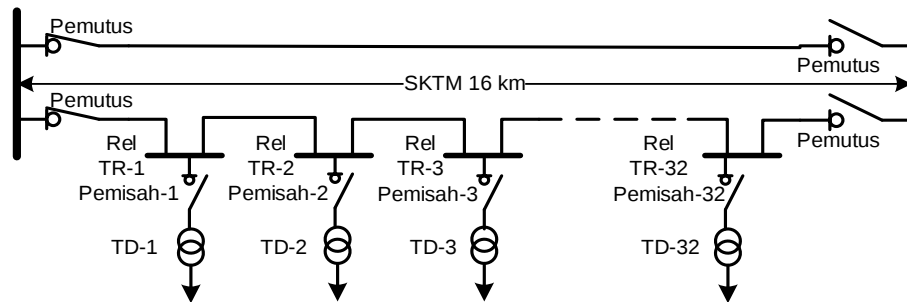
Tabel 4. Pembebanan penyulang AJ Tangerang dengan kriteria sedang

Nama Gardu Induk 20 kV	Nama Penyulang Keluar GI	Panjang Kbl / Penyulang (m)	Beban Maks Penyulang (MVA)	Kapasitas Penyulang	
				Persentase	Keterangan
Tiga raksa	Tuwek	27,686	7.62	61.5%	Beban Sedang
Legok	Kedai	10,962	7.27	58.7%	Beban Sedang
Maximangando	Gurinda	16,380	7.62	61.5%	Beban Sedang
Cengkareng	Mustang	7,651	7.45	60.1%	Beban Sedang
Bala raja	Ciseri	21,761	7.27	58.7%	Beban Sedang
New tangerang	Akal	10,670	6.93	55.9%	Beban Sedang
Lengkong	Tehnik	21,977	6.24	50.3%	Beban Sedang
Citra habitat	Lalat	5,844	6.75	54.5%	Beban Sedang
Cikupa	Andes	12,517	6.24	50.3[6]]%	Beban Sedang
Duri kosambi	Rambut	14,582	6.24	50.3%	Beban Sedang

Dengan mempertimbangkan kinerja operasional penyulang JTR ditetapkan drop tegangan maksimum penyulang JTR sebesar 5% dengan pembebanan maksimum yang dibolehkan untuk penyulang JTR sebesar 80%. Kapasitas pembebanan masing-masing saluran 20 kV yang keluar dari GI jaringan tegangan menengah berkisar dari 4 MVA sampai dengan 15 MVA sesuai dengan drop tegangan maksimum. Untuk melayani pembebanan spot dengan kapasitas beban 20 MVA ke atas dapat digunakan saluran dengan tegangan nominal 70 kV. Kapasitas pembebanan saluran 70 kV jika ditentukan secara liner dengan tegangannya diperoleh kapasitas yang berkisar antara 20 MVA sampai dengan 55 MVA

3.3. Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan suatu sistem jaringan distribusi adalah kemampuan sistem tersebut untuk memulihkan kontinuitas penyaluran tenaga listrik setelah terjadinya kegagalan/ gangguan penyaluran, baik dari sumber yang sama ataupun berbeda. Parameter untuk mengukur tingkat keandalan adalah frekuensi kegagalan penyaluran dan durasi kegagalan penyaluran.[5]



Gambar 2. Sistem Penyulang Spindel

Untuk daerah Pelayanan PT. PLN Distribusi yang dibahas dalam penentuan keandalan jaringan distribusi dalam penelitian ini adalah tipe konfigurasi JTM menggunakan sistem spindel seperti terlihat pada gambar 1. Konfigurasi Spindel digunakan untuk pelanggan umum dengan prioritas pemadaman pada urutan 3 dan 4. Disamping itu konfigurasi Spot Network digunakan untuk pelanggan spot (spot load) atau beban yang sifatnya rawan dengan prioritas pemadaman 4 atau 5. Adapun Simulasi perhitungan SAIFI dan SAIDI untuk jaringan distribusi spindel dapat dilihat pada tabel 5 dan tabel 5.

Tabel 5. Indeks frekuensi pemadaman rata-rata (SAIFI)

Ij	Jenis Komponen	Komponen (Unit/km)	Angka Keluar (Kali/unit/km/th)	Pu Sistem Keluar (Bg plg)	Frekuensi Pemadaman (Kali/th)
a	B	c	D	e	$f=c*d*e$
1	Pemutus	1 unit	0,004	1	0,004
2	SKTM	16 km	0,07	1	1,12
3	Pemisah	32 unit	0,003	1/32	0,003
4	Terminal Kabel	$32*2+1*2=66$ unit	0,001	1	0,066
3	Trafo Distr.	32 unit	0,005	1/32	0,005
4	Rel TR	32 unit	0,001	1/32	0,001
Total					1,199

Tabel 6. Indeks pemadaman rata-rata (SAIDI)

I	Jenis Komponen	Komponen (Unit/km)	Frekuensi Pemadaman (Kali/th)	Waktu Kerja Operasi		Lama Pemadaman (Jam/th)
				J	t_{ij} (jam)	
a	B	C	d	E	f	g
1	Pemutus	1 unit	0,004	12	$A = 0,5$ $C = 0,083$	$0,004*(0,083*2+0,5) = 0,042$
2	SKTM	16 km	1,12	1 2	$A = 0,5$ $B = 0,16$	$1,12*(0,5*2+0,16*32*0,5) = 20,992$
3	Pemisah	32 unit	0,003	1 2	$A = 0,5$ $B = 0,16$	$0,003*(0,5*2+0,16*32*0,5)$

				3	I = 10	+10) = 0,0407
4	Terminal Kabel	32*2+1*2=66 unit	0,066	1 2	A = 0,5 B = 0,16	0,066*(0,5*3 +0,16*32*0,5) = 0,2680
5	Trafo Distr.	32 unit	0,005	1	K = 10	0,005*10 = 0,05
6	Rel TR	32 unit	0,001	1	M = 10	0,001*10 = 0,01
Total						4,36

Hasil perhitungan tingkat keandalan untuk kriteria tidak andal dapat dilihat pada Tabel 7, sebagai berikut:

Tabel 7. SAIDI dan SAIFI Penyulang AJ Tangerang dengan kriteria Tidak Andol.

Nama GI	Nama Penyulang	Panjang	Jumlah GD	SAIFI		SAIDI	
		(m)	(unit)	(Kali/thn)	Keterangan	(Jam/thn)	Keterangan
Tiga raksa	Tuwek	27686	24	2.00	Tidak Andol	5.93	Tidak Andol
Legok	Bebet	53688	43	3.86	Tidak Andol	17.23	Tidak Andol
Maximangando	Filter	17005	28	1.26	Andol	4.18	Tidak Andol
Cengkareng	Cesna	20535	20	1.49	Andol	3.97	Tidak Andol
Bala raja	Juri	16370	24	1.21	Andol	3.62	Tidak Andol
New tangerang	Wahyu	15790	16	1.15	Andol	2.71	Tidak Andol
Lengkong	Steno	16251	20	1.19	Andol	3.19	Tidak Andol
Citra habitat	Tawon	16382	11	1.18	Andol	2.31	Tidak Andol
Cikupa	Imperial	16638	16	1.21	Andol	2.85	Tidak Andol
Duri kosambi	Gobi	14913	12	1.08	Andol	2.21	Tidak Andol

Untuk penyulang-penyulang yang terurut dari atas ke bawah pada tabel 7 merupakan penyulang-penyulang dengan kinerja yang berada di luar kriteria disain. Kinerja penyulang ini dapat dilihat dari momen listrik penyulang yang melebihi momen listrik kriteria disainnya (76,8MVA/km). Ini disebabkan karena penyulang dibebani lebih dari beban maksimum yang seharusnya dapat dipikul sesuai panjang penyulangnya. Kondisi ini dapat terlihat pada penyulang yang memiliki drop tegangan berat tetapi masih berada pada daerah kriteria pembebanan penyulang. Beban maksimum yang dapat dipikul oleh penyulang (beban maksimum kriteria) adalah beban maksimum jika dikalikan dengan panjang penyulangnya tidak melebihi momen

listriknya. Maka kinerja penyulang dengan kondisi seperti ini dapat diperbaiki dengan memindahkan beban penyulang sebesar kelebihan beban penyulang dari beban maksimum kriteria

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Evaluasi kondisi eksisting dilakukan dengan perhitungan-perhitungan berdasarkan data-data beban penyulang dari PLN. Kemudian hasil dari perhitungan kinerja (drop tegangan, pembebanan saluran dan keandalan) dievaluasi dan apabila tidak memenuhi kriteria disain direkomendasikan untuk direkonfigurasi supaya memenuhi kriteria.

Area Jarinagn Tangerang memiliki 75 penyulang yang melanggar batas kriteria disain. Rata-rata penyulang-penyulang tersebut berkinerja jelek karena memiliki drop tegangan yang berat. Ini disebabkan karena penyulang tersebut relatif panjang dibanding beban yang dilayaninya. Sedangkan penyebab lainnya karena pembebanan penyulang telah melebihi pembebanan kriteria disain (kemampuan transfer dayanya). Sedangkan untuk keandalan terdapat beberapa penyulang yang dikategorikan tidak andal. Oleh karena itu untuk penyulang-penyulang yang bermasalah karena kinerjanya, maka pada penyulang-penyulang tersebut dapat dilakukan upaya perbaikan dengan melakukan pemindahan titik beban secara merata. Pemindahan titik beban dapat dilakukan ke penyulang-penyulang yang masih ringan terdekat atau dapat juga dipindahkan ke penyulang baru.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi PLN khususnya LPPM yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nazaruddin et al., "Reliability Analysis of 20 KV Electric Power Distribution System," IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 854, no. 1, 2020.
- [2] L. L. Peter and Y. Yang, "Urban planning historical review of master plans and the way towards a sustainable city: Dar es Salaam, Tanzania," Front. Archit. Res., vol. 8, no. 3, pp. 359–377, 2019.
- [3] S. Zhang, H. Cheng, D. Wang, L. Zhang, F. Li, and L. Yao, "Distributed generation planning in active distribution network considering demand side management and network reconfiguration," Appl. Energy, vol. 228, no. July, pp. 1921–1936, 2018.
- [4] F. D. J. Dunstan, A. B. Nix, and J. F. Reynolds, "Economic criteria for optimizing the number of machines per operator," vol. 3443, 1980.
- [5] C. Ye, Y. Ding, P. Wang, and Z. Lin, "A data-driven bottom-up approach for spatial and temporal electric load forecasting," IEEE Trans. Power Syst., vol. 34, no. 3, pp. 1966–1979, 2019.
- [6] G. J. Cho, C. H. Kim, Y. S. Oh, M. S. Kim, and J. S. Kim, "Planning for the Future: Optimization-Based Distribution Planning Strategies for Integrating Distributed Energy Resources," IEEE Power Energy Mag., vol. 16, no. 6, pp. 77–87, 2018.
- [7] I. M. De Mendonça, I. C. S. Junior, and A. L. M. Marcato, "Static planning of the expansion of electrical energy transmission systems using particle swarm optimization," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 60, pp. 234–244, 2014.
- [8] K. Farahzad, A. Shahbahrami, and M. Ashouri, "Optimal Capacity Determination For Electrical Distribution Transformers Based On IEC 60076-7 And Practical Load Data," Int. J. Eng. Manuf., vol. 10, no. 1, pp. 1–11, 2020.

-
- [9] M. McCool, A. D. Robison, and J. Reinders, "K-Means Clustering," in *Structured Parallel Programming*, 2012.
 - [10] X. Sun, Z. Ouyang, and D. Yue, "Short-term load forecasting based on multivariate linear regression," *2017 IEEE Conf. Energy Internet Energy Syst. Integr. EI2 2017 - Proc.*, vol. 2018-Janua, pp. 1–5, 2017.
 - [11] W. P. Perdana, R. N. Hasanah, and H. S. Dachlan, "Evaluasi Keandalan Sistem Tenaga Listrik Pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial Gardu Induk Blimbing," *J. EECCIS*, 2009.
 - [12] C. Widyastuti, A. Senen, and O. Handayani, "Micro-Spatial Electricity Load Forecasting Using Clustering Technique," *Proceeding - 2020 2nd Int. Conf. Ind. Electr. Electron. ICIEE 2020*, vol. 11005, pp. 17–21, 2020.
 - [13] S. Zhang, Y. Wang, Y. Zhang, D. Wang, and N. Zhang, "Load probability density forecasting by transforming and combining quantile forecasts," *Appl. Energy*, vol. 277, p. 115600, 2020.
 - [14] Julius Sentosa Setiadji, Tabrani Machmudsyah, and Yanuar Isnanto, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi," *J. Tek. Elektro*, 2007.
 - [15] K. Wahyudi Widiatmika, I. W. Arta Wijaya, and I. N. Setiawan, "Analisis Penambahan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi Overload Padatransformator Db0244 Di Penyulang Sebelanga," *J. SPEKTRUM*, vol. 5, no. 2, p. 19, 2018.