

PEMASANGAN KAPASITOR SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN FAKTOR DAYA PADA SISTEM DISTRIBUSI PRIMER 20 KV

Nazaruddin¹, Maimun², Mahalla³, Suherman⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: nazaruddin@pnl.ac.id¹, maimun.s210@gmail.com², mahalla.pnl@gmail.com³, suhermanmsi@gmail.com⁴

Corresponding Author : Nazaruddin

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: nazaruddin@pnl.ac.id

Abstrak – Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh pemasangan kapasitor sebagai komponen yang dapat mengkompensasikan penggunaan daya reaktif oleh beban, sehingga total daya yang harus disuplay oleh sumber tegangan mengalami penghematan. Besarnya daya reaktif yang dikonsumsi oleh beban menyebabkan faktor daya turun. Faktor daya yang rendah pada suatu instalasi listrik merugikan sistem tenaga. Secara teoritis sistem dengan faktor daya yang rendah tentunya akan menyebabkan arus yang dibutuhkan dari penyalur menjadi besar. Beban yang dipakai oleh konsumen merupakan beban induktif yang bekerja pada faktor daya tertinggal, beban ini membutuhkan daya reaktif disamping daya aktif. Faktor daya yang rendah dapat diperbaiki dengan menambahkan kapasitor pada jaringan, kapasitor akan berfungsi sebagai penyuplai daya reaktif yang bekerja pada faktor daya leading. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah melakukan komputasi aliran daya dengan software ETAP 12.6 yaitu dengan menjalankan *load flow analysis program*. Adapun objek penelitian diuji pada jaringan distribusi sistem radial IEEE system 9 bus. Simulasikan dilakukan pada objek penelitian dengan menempatkan kapasitor pada jaringan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa sebelum pemasangan kapasitor total daya yang disuplay dari sumber daya (*secondary substation*) ke beban adalah 10,908 MW dan 6,757 MVAR, faktor daya 0,85 lagging, dengan total *losses* sebesar 837 KW dan 1110,3 KVAR. Setelah pemasangan kapasitor, secara keseluruhan faktor daya meningkat mencapai 15,67 %, dan penghematan arus sebesar 10,7 %. Efek dari peningkatan faktor daya adalah adanya penghematan arus pada beban. Penghematan arus terbesar terjadi pada bus nomor 7 yaitu sebesar 21 %.

Kata-kata kunci: kapasitor, faktor daya, beban, distribusi, induktif.

Abstract – The aim of this research is to analyze the effect of installing capacitors as components that can compensate for the use of reactive power by the load, so that the total power that must be supplied by the voltage source is saved. The amount of reactive power consumed by the load causes the power factor to decrease. A low power factor in an electrical installation is detrimental to the power system. The load used by consumers is an inductive load that works on a lagging power factor, this load requires reactive power and also active power. Low power factor can be corrected by adding capacitors to the network, the capacitor will function as a reactive power supplier that works on the leading power factor. The method used in the research is to compute power flow with ETAP 12.6 software, namely by running the load flow analysis program. The research object was tested on the IEEE system 9 bus radial system distribution network. Simulation is carried out on the research object by placing capacitors on the network. The results of the research show that before installing the capacitors, the total power supplied from the substation to the load was 10,908 MW and 6,757 MVAR, a power factor of 0.85 lagging, with total losses of 837 KW and 1110.3 KVAR. After using capacitors, the overall power factor increases to 15.67%, and current savings are 10.7%. The effect of increasing the power factor is to save current on the load. The largest traffic savings occur on bus number 7, namely 21%.

Keywords: capacitor, power factor, load, distribution, inductive.

I. PENDAHULUAN

Kontinuitas penyaluran energi listrik merupakan salah satu unsur dari kualitas pelayanan, dan kesemuanya tergantung pada jenis dan tipe penyaluran dan peralatan pengaman yang digunakan. Jaringan distribusi sebagai sarana penyalur energi listrik mempunyai tingkat kontinuitas pelayanan berdasarkan jangka waktu

mengoperasikan kembali saluran setelah mengalami gangguan [1].

Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit ke konsumen dilakukan secara bertahap yaitu melalui jaringan transmisi (150 KV), jaringan distribusi primer (20 KV), dan jaringan distribusi skunder (380/220 V) untuk disalurkan ke konsumen.

Beberapa faktor yang menentukan kualitas energi listrik yang dipakai adalah kestabilan tegangan, frekuensi, kontinuitas pelayanan dan faktor daya. Namun dari beberapa faktor diatas yang dirasakan jelas oleh pelanggan adalah kontinuitas pelayanan energi listrik karena banyak keluhan dari para pelanggan mengenai sering terjadi aliran listrik yang padam dan lama padam yang terlalu lama [2].

Beban sistem tenaga listrik terdiri dari beban resistif, beban induktif dan beban kapasitif, beban dipakai oleh konsumen merupakan beban induktif yang bekerja pada faktor daya tertinggal, beban ini membutuhkan daya reaktif disamping daya aktif. Daya reaktif merupakan daya yang tidak dapat menjadi tenaga, akan tetapi daya ini wujudnya untuk membangkitkan fluksi magnet seperti halnya untuk beban motor listrik. Penjumlahan kedua daya aktif dan reaktif akan menghasilkan daya nyata yang merupakan daya yang disuplai oleh PLN [3].

Faktor daya yang rendah pada suatu instalasi listrik merugikan sistem tenaga. Secara teoritis sistem dengan faktor daya yang rendah tentunya akan menyebabkan arus yang dibutuhkan dari pensuplai menjadi besar. Oleh karena itu PLN mensyaratkan pelanggan agar PF minimal adalah 0,8. Jika PF kurang dari angka tersebut, maka PLN akan menagih biaya KVAR yang dipakai konsumen [4].

Upaya untuk mengurangi akibat dari meningkatnya arus reaktif adalah dengan melakukan kompensasi daya reaktif, yang bertujuan untuk transportasi daya reaktif pada jaringan tenaga listrik dan menjaga agar profil tegangan selalu berada pada batas-batas yang diizinkan. Pemasangan kapasitor secara shunt merupakan salah satu alternatif untuk mengkompensasi rugi daya reaktif yang disebabkan oleh beban-beban induktif. Kapasitor menyediakan daya reaktif yang diperlukan oleh induktor. Penggunaan kapasitor selain memperbaiki faktor daya sistem juga dapat mengurangi rugi-rugi daya pada hantaran, sebagai akibat penurunan nilai arus yang mengalir [5].

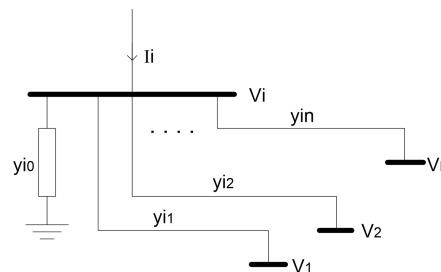
Kapasitor merupakan salah satu alat listrik yang sering digunakan untuk memperbaiki faktor daya, untuk memperbesar nilai $\cos \phi$ yang rendah adalah dengan cara memperkecil sudut antara daya semu dengan daya aktif (faktor daya mendekati nilai 1. Sedangkan untuk memperkecil sudut ϕ hal yang mungkin dilakukan adalah memperkecil komponen daya reaktif. Berarti komponen daya reaktif yang ada bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangan itu bisa dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif yaitu berupa kapasitor [6].

Fokus penelitian ini adalah menganalisis dampak pemasangan kapasitor pada jaringan distribusi 20 KV sebagai upaya dalam penghematan penggunaan energi listrik. Pemakaian kapasitor akan mengkompensasi penggunaan daya reaktif induktif oleh beban.

II. METODOLOGI

A. Aliran Daya

Suatu model system tenaga Listrik seperti pada Gambar 1, mana nilai impedansi telah diubah menjadi nilai admitansi dalam satuan *pu* pada dasar MVA[7][8].



Gbr. 1 Model bus sistem tenaga listrik

Aplikasi Hukum Kirchoff tentang arus diberikan dalam:

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \tag{1}$$

Daya aktif pada bus i adalah:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \tag{2}$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \tag{3}$$

Substitusikan persamaan (3) ke (1)

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j, \quad j \neq i \tag{4}$$

Dari hubungan di atas formulasi perhitungan dari masalah aliran daya dalam sistem tenaga harus diselesaikan dengan teknik iterasi.

B. Sistem Distribusi

Sistem distribusi berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Gardu Induk) sampai ke konsumen.

Sistem distribusi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu istem distribusi primer dan system distribusi skunder. Sistem distribusi primer terletak antara titik sekunder trafo substation (G.I.) dengan titik primer trafo distribusi, bekerja pada tegangan menengah 20 KV. Sistem distribusi skunder terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, bekerja pada tegangan rendah 380/220 V [9][10].

Ditinjau dari bentuk jaringannya, distribusi primer dapat dibagi menjadi type radial dan type loop[2][7][9]. Jaringan distribusi radial merupakan jaringan hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Keuntungannya ada pada kesederhanaan dari segi teknis dan biaya investasi yang rendah. Adapun kerugiannya apabila terjadi gangguan dekat dengan sumber, maka

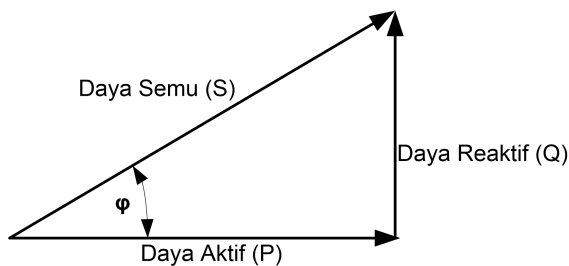
semua beban saluran tersebut akan ikut padam sampai gangguan tersebut dapat diatasi.

Jaringan distribusi loop adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula. Jaringan type ini adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan. Jika salah satu sumber pengisian (saluran utama) mengalami gangguan, akan dapat digantikan oleh sumber pengisian yang lain (saluran cadangan).

C. Kapasitor dan Faktor daya

Kapasitor daya terdiri dari komponen konduktor dan isolasi, yaitu terdiri dari pelat metal yang dipisahkan satu sama lain dengan bahan isolasi. Tidak ada bagian yang bergerak, akan tetapi terdapat gaya yang bekerja sebagai fungsi dari kuat medan Listrik [11].

Dalam rangkaian listrik, terdapat tiga macam beban listrik yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Beban resistif adalah beban yang hanya terdiri dari tahanan dalam satuan ohm dan daya yang dikonsumsinya hanya daya aktif saja. Beban induktif mempunyai ciri-ciri disamping mengkonsumsi daya aktif, juga menyerap daya reaktif yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet dalam beban tersebut, jadi jumlah vektor dari daya reaktif (Q) dan daya aktif (P) biasa disebut dengan daya semu (S) [12][13]. Hubungan daya P, Q dan S ditunjukkan pada Gambar 2.



Gbr. 2 Segitiga daya

Ketiga daya dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P = VI \cos \varphi \quad (5)$$

$$S = VI \quad (6)$$

$$Q = VI \sin \varphi \quad (7)$$

Kapasitor yang digunakan untuk memberikan kompensasi daya reaktif (Q_c).

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (8)$$

D. Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah jaringan distribusi radial system IEEE 9 bus, adapun data penelitian ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel I
Data beban jaringan distribusi sistem IEEE 9 bus

No. Bus	V (KV)	P (KW)	Q (KVAR)	PG (KW)	QG (KVAR)
1	20	1840	460	0	0
2	20	980	340	0	0
3	20	1790	446	0	0
4	20	1598	1840	0	0
5	20	1610	600	0	0
6	20	780	110	0	0
7	20	1150	1160	0	0
8	20	980	920	0	0
9	20	1640	1440	0	0

Tabel II
Parameter jaringan distribusi system IEEE 9 bus

From bus	To bus	R (Ω /KM)	X (Ω /KM)
0	1	0,1233	0,4127
1	2	0,0140	0,6050
2	3	0,7463	1,2050
3	4	0,6984	0,6084
4	5	1,9831	1,7276
5	6	0,9053	0,7886
6	7	2,0552	1,1640
7	8	4,7953	2,7160
8	9	5,3430	3,0264

Metoda Pengolahan data adalah dengan melakukan komputasi dengan software Etap 12.6. Komputasi dilakukan pada objek penelitian jaringan distribusi sistem radial IEEE 9 bus. Adapun prosedur percobaan:

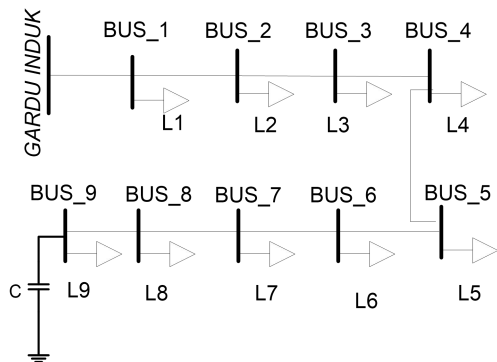
1. Membuat konfigurasi jaringan yang akan diteliti.
2. Memasukkan nilai parameter jaringan (nilai R dan X) pada saluran antar bus.
3. Memasukkan nilai tegangan pada setiap bus.
4. Memasukkan nilai daya (P dan Q) pada pembangkit.
5. Memasukkan nilai beban (P dan Q).
6. Melakukan komputasi aliran daya dengan *Load Flow Analysis* untuk sistem sebelum pemasangan kapasitor pada jaringan.
7. Menghitung tegangan, aliran daya aktif dan reaktif dan *losses*.
8. Melakukan komputasi aliran daya dengan *Load Flow Analysis* untuk sistem sesudah pemasangan kapasitor pada jaringan.
9. Menghitung tegangan, aliran daya aktif dan reaktif dan *losses*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan pada jaringan distribusi type radial mengambil objek pada system IEEE 9 bus dengan nilai dasar (*base*) sebesar 30 MVA dan 20 kV, kemudian dilakukan komputasi aliran daya (*load flow*) dengan *software* ETAP untuk mengetahui kondisi penyaluran daya. Konfigurasi jaringan distribusi system IEEE 9 bus merupakan jaringan distribusi type radial murni yang menyuplai daya dari sumber (sisi skunder

trafo daya) untuk melayani kebutuhan beban sampai ke ujung yang terjauh. Hasil simulasi aliran daya menunjukkan gambaran kondisi sistem yaitu berupa parameter-parameter di setiap bus yang meliputi tegangan, daya dan rugi-rugi jaringan. Besarnya daya yang harus disuplai dari sumber daya (*Slack bus*) ke jaringan untuk memenuhi kebutuhan beban yaitu sebesar 10,908 MW dan 6,757 MVAR, faktor daya 0,85 lagging, dengan total *losses* sebesar 837 KW dan 1110,3 KVAR. Hasil simulasi menunjukkan bahwa bus yang paling jauh dari sumber daya (bus 9) mengalami penurunan tegangan (drop tegangan) terbesar yaitu sebesar 21, 4 % atau sebesar 4,28 KV, hal ini terjadi karena bus merupakan bus yang paling jauh dari sumber daya sehingga mengalami drop tegangan terbesar.

Tahap berikutnya melakukan komputasi dengan menenpatkan kapasitor 2000 KVAR pada bus yang paling jauh dengan sumber daya (bus nomor 9), struktur jaringan seperti terlihat pada Gambar 3.



Gbr. 3 Jaringan distribusi dengan pemakaian kapasitor

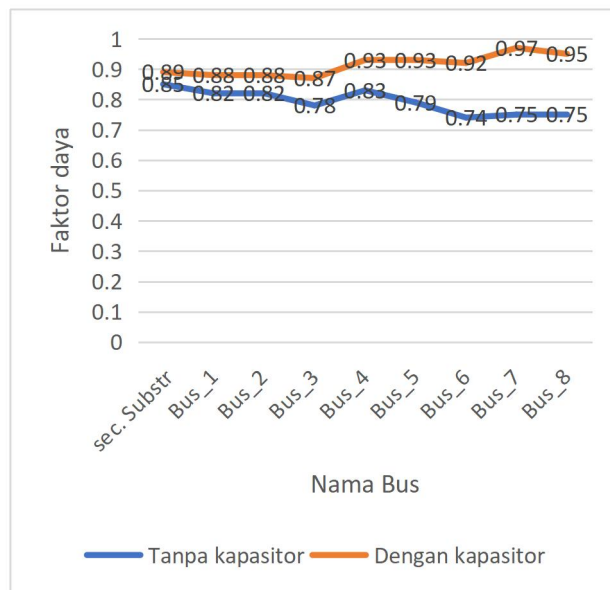
Hasil komputasi aliran daya menunjukkan adanya perubahan arus dan faktor daya pada masing-masing bus seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel III
Penempatan kapasitor pada bus 9

Bus dari	Bus ke	Line Flow		Arus Amper	Faktor Daya
		MW	MVAR		
Sec. GI	1	11,067	5,469	365,300	0,89
1	2	9,212	4,858	303,400	0,88
2	3	8,261	4,363	274,300	0,88
3	4	6,462	3,684	225,000	0,87
4	5	4,954	1,977	164,400	0,93
5	6	3,485	1,349	119,700	0,93
6	7	2,829	1,228	100,000	0,92
7	8	1,898	0,317	63,900	0,97
8	9	1,146	-0,367	42,300	-0,95

Efek dari pemasangan kapsitor pada bus nomor 9 akan meningkatkan fakkor daya pada masing-masing bus, hal ini terjadi karena kapasitor menkompensasikan daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban yang bersifat induktif, sehingga daya reaktif beban akan berkurang dan akan meningkatkan faktor daya beban, dengan fator daya ideal sama dengan 1. Perbandingan faktor daya sebelum

dan sesudah pemasangan kapasitor pada bus nomor 9 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gbr. 4 Kurva perbandingan pemakaian kapasitor

Penempatan kapasitor pada bus nomor 9 yang merupakan paling ujung dari jaringan distribusi akan berdampak pada peninfkatan fackor daya pada masing-masing beban jaringan distribusi 20 KV. Beban-beban yang mengalami peningkatan faktor daya terbesar terjadi pada bus nomor 6, bus nomor 7 dan bus nomr nomor 8 yaitu di atas 24 %, Secara keseluruhan peningkatan faktor daya rata rata pada semua beban yaitu 15,67%.

Peningkatan faktor daya akan menyebabkan pemakaian arus pada masing-masing beban akan menurun artinya terjadi penghematan pemakain arus listrik. Penghematan pemakaian arus listrik masing-masing beban seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel IV
Penghematan arus dengan penambahan kapasitor

Nama Bus	Arus (A)		Penghematan (%)
	Tanpa Kapasitor	Dengan Kapasitor	
Sec. GI	370,400	356,300	3,81
Bus_1	319,000	303,400	4,89
Bus_2	290,700	274,300	5,64
Bus_3	243,800	225,000	7,71
Bus_4	180,200	164,400	8,77
Bus_5	137,700	119,700	13,07
Bus_6	120,900	100,000	17,29
Bus_7	80,900	63,900	21,01
Bus_8	49,500	42,300	14,55

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil komputasi yang dilakukan sebelum pemasangan kapasitor pada jaringan distribusi system IEEE 9 bus menunjukkan bahwa daya yang disuplai dari slack bus yaitu sebesar 10,908 MW dan

6,757 MVAR, faktor daya 0,85 lagging, dengan total losses sebesar 837 KW. Setelah pemasangan kapasitor, secara keseluruhan faktor daya meningkat sekitar 15,67 %. Efek dari peningkatan faktor daya adalah adanya penghematan arus pada beban. Beban yang mengalami penghematan terbesar adalah beban pada bus nomor 7 dengan penghematan arus sebesar 17 A atau 21,01 % dari arus awal 80,9 A menjadi 60,9 A.

REFERENSI

- [1] Siburian, J. M., Siahaan, T., & Sinaga, J. (2020). Analisis Peningkatan Kinerja Jaringan Distribusi 20kv Dengan Metode Thermovisi Jaringan PT. PLN (Persero) ULP Medan Baru. *Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro*, 9(1), 8-19.
- [2] Nazaruddin, N., Mahalla, M., Abubakar, S., & Aiyub, S. (2020, May). Reliability analysis of 20 kV electric power distribution system. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 854, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- [3] Rusda, R., Karim, K., & Masing, M. (2018, January). Analisis Perbaikan Faktor Daya Untuk Penghematan Energi Listrik Pada Politeknik Negeri Samarinda. In *Seminar Nasional Rekayasa Tropis 2024* (Vol. 1, No. 1, pp. 1-9).
- [4] Putra, A. M. N. (2021). Efektifitas Pemasangan Kapasitor di Gardu Induk Terhadap Kualitas Daya di Jaringan Transmisi. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 30-35.
- [5] Dani, A., & Hasanuddin, M. (2018, September). Perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor sebagai kompensator daya reaktif (studi kasus STT Sinar Husni). In *Seminar Nasional Royal (SENAR)* (Vol. 1, No. 1, pp. 673-678).
- [6] Hajar, I., & Rahayuni, S. M. (2020). Analisis Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Di Plant 6 PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Unit Citeureup. *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, 9(1), 8-16.
- [7] Nazaruddin, N., Mahalla, M., Fauzi, F., Maimun, M., & Subhan, S. (2023, August). Electrical power supply on 20 KV distribution network based on quality and the reliability. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2431, No. 1). AIP Publishing.
- [8] Nazaruddin, N., Mahalla, M., Maimun, M., & Hayati, R. (2022). Analisis Kebutuhan Daya pada Jaringan Distribusi 20 KV Sistem Radial. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* (Vol. 6, No. 1, pp. 118-121).
- [9] Nazaruddin, N., Mahalla, M., Fauzi, F., & Subhan, S. (2020). Analisis Penyaluran Daya Listrik Pada Jaringan Distribusi 20 Kv. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* (Vol. 4, No. 1, pp. 36-40).
- [10] Suprianto, S. (2018). Analisa Tegangan Jatuh pada Jaringan Distribusi 20 kV PT. PLN Area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu. *JET (Journal Electr. Technol)*, 3(2), 64-72.
- [11] Bandri, S., & Danial, T. (2014). Studi Analisa Pemasangan Kapasitor Pada Jaringan Udara Tegangan Menengah 20 kV Terhadap Drop Tegangan (Aplikasi pada Feeder 7 Pinang GI Muaro Bungo). *Jurnal Teknik Mesin*, 4(1), 30-36.
- [12] Waris, T., & Kitta, I. (2011). Studi penempatan kapasitor pada sistem distribusi. *Jurnal Ilmiah "Elektrikal Enjiniring"*.
- [13] Nizam, K. M., & Rijanto, T. (2019). Analisis Perbaikan Kualitas Daya Menggunakan Kapasitor Bank Pada Penyulang Lumumba Pt. Pln Ngagel Surabaya, 4(1), 64-75.