

# ***Load Flow Analysis Capacitor Bank dengan Metode Kompensasi Individu dan Kompensasi Global***

**Ruliyanta<sup>1\*</sup>, Adhyarta Keraf<sup>2</sup>, Idris Kusuma<sup>1</sup>, R.A. Suwodjo Kusumoputro<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan sains, Universitas Nasional, Jakarta 12520

<sup>2</sup>Program Studi Sistem Informasi, Institut Bisnis Nusantara, Jakarta 13210

\*Korespondensi penulis: rullysitepu@gmail.com

(Received: 03-03-2022; Revised: 14-06-2022; Accepted: 24-06-2022)

**Abstract.** *Large buildings use lots of electrical equipment. The equipment includes air conditioning systems, building transportation, pumps, and others. One of the problems often encountered is the emergence of a decrease in power factor due to inductive loads. These induction machines cause this inductive load. One way to overcome this problem, Capacitor Bank is needed. The building that we observed is a building that has been operating for more than 20 years and has undergone a Single Line Diagram (SLD) change, where the capacitor bank does not work properly so the power factor is close to 0.85. This study rearranges the SLD according to the latest electrical loads in the building. The new SLD results are simulated using the Load Flow Analysis method with ETAP software, to achieve a quality factor of 0.99. In the Individual Compensation Method, it produces a savings of 13.9 kW, and this will result in a return on investment in the 40th month, and in the 2nd method, we use the Global Compensation Method which results in an improvement of 9.7 kW and a return on investment in the 57th month.*

**Keywords:** *inductive load, load flow analysis, power factor, single line diagram, capacitor bank*

**Abstrak.** Pada gedung-gedung besar menggunakan peralatan listrik. Peralatan tersebut seperti sistem tata udara, transportasi gedung, pompa dan lain-lain. Salah satu permasalahan yang sering dijumpai adalah timbulnya penurunan faktor daya akibat beban induktif. Beban induktif ini disebabkan oleh mesin-mesin induksi. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan menambahkan *Capacitor Bank*. Gedung yang kami teliti adalah gedung yang sudah beroperasi lebih dari 20 tahun dan sudah mengalami perubahan *Single Line Diagram* (SLD), selain itu *capacitor bank* tidak bekerja dengan baik sehingga faktor daya mendekati 0.85. Penelitian ini menyusun ulang SLD sesuai dengan beban listrik terbaru dalam gedung. Hasil SLD yang baru kami simulasikan dengan metode *Load Flow Analysis* dengan perangkat lunak ETAP, untuk mencapai faktor kualitas sebesar 0,99. Pada *Individual Compensation Method* menghasilkan penghematan sebesar 13.9 kW dan ini akan menghasilkan *return of investment* pada bulan ke-40 dan pada metode ke-2 kami pakai *Global Compensation Method* yang menghasilkan perbaikan 9.7 kW dan *return of investment* di bulan ke-57.

**Kata kunci:** *beban induktif, load flow analysis, faktor daya, single line diagram, capasitor bank.*

## **PENDAHULUAN**

Gangguan beban listrik ditimbulkan dari berbagai macam faktor, baik dari tegangan jatuh akibat jarak transmisi, atau beban induktif [1]. Sifat beban listrik dapat dikelompokkan resistif, induktif, dan kapasitif [2]. Pada bangunan besar, penyebab beban induktif adalah mesin-mesin motor induksi [3]. Beban induktif akan berdampak pada penurunan faktor daya [4], [5]. Dengan menurunnya faktor daya, maka biaya listrik yang digunakan akan besar dan mengalami keborosan. Untuk meningkatkan faktor daya dapat dilakukan dengan menambahkan *capacitor bank* [6]. Besarnya kebutuhan *capacitor bank* dapat dihitung sesuai

dengan besarnya beban yang ada dalam gedung di mana nilai yang dikirim oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) biasanya 0.85 [5], [7]. Untuk mempermudah perhitungan kebutuhan *capasitor bank*, bisa dilakukan perhitungan melalui *single line diagram* (SLD). SLD adalah gambar alur instalasi listrik dalam gedung. Setiap alur kabel memiliki ukuran yang berbeda sesuai dengan beban yang ditanggung pada masing-masing panel [6], [8], [9].

Seiring dengan waktu, biasanya terjadi perubahan kebutuhan listrik, misalnya ruangan akan dijadikan laboratorium komputer sehingga dibutuhkan listrik yang besar atau ruangan dijadikan ruang server dengan kebutuhan tata udara yang lebih besar. Hal-hal semacam ini akan merubah SLD yang sudah ada.

Penelitian ini dilakukan di salah satu pusat perbelanjaan yang ada di Jakarta Timur, yaitu Mal Cijantung. Gedung ini sudah beroperasi lebih dari 20 tahun dan kondisi panel *capasitor bank* dalam keadaan tidak optimal. Selain itu setelah beroperasi lebih dari 20 tahun, SLD listrik sudah tidak sesuai dengan kondisi awal. Beberapa tenant besar menginginkan sebuah instalasi yang eksklusif sehingga dibutuhkan penarikan instalasi listrik secara khusus. Sebagian besar beban listrik sudah dilakukan pemindahan dan pengelompokan ulang di Panel Utama Tegangan Rendah. Sehingga *capasitor bank* yang ada sudah tidak sesuai dengan beban yang ada.

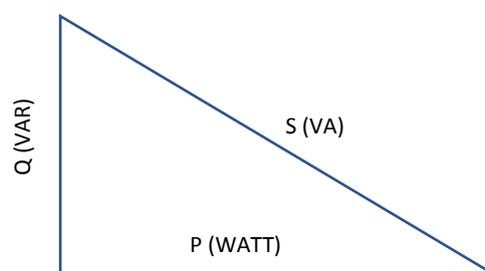
Tujuan penelitian ini adalah memperbaiki nilai faktor daya. Caranya dengan memasang *capasitor bank* yang sesuai dengan beban. Untuk menghitung kapasitas *capasitor bank* yang dibutuhkan pendekatannya dengan menggambar ulang SLD. Untuk itu kami mengukur seluruh beban yang ada. Pendekatan yang kami lakukan adalah melalui perhitungan dan dianalisis dengan perangkat lunak ETAP dengan Load Flow Analysis (LFA) [10]–[12]. Selanjutnya kami akan menghitung besarnya CAPEX dan OPEX [13], [14]. Batasan dalam penelitian ini adalah sistem yang kami teliti hanya untuk Panel Utama Tegangan Menengah (PUTR) I saja.

Kontribusi yang diberikan dalam penelitian ini adalah memberikan perbaikan nilai Faktor Daya yang semula 0.85 menjadi 0.99. Selain itu kami menggambarkan ulang SLD yang baru dari gedung ini untuk simulasi dalam perangkat lunak ETAP. Kami memberikan perhitungan CAPEX dan OPEX atas perbaikan perangkat sehingga pada akhirnya dapat dilakukan penghematan listrik pada bangunan tersebut.

## METODE PENELITIAN

### Pendekatan Teori

Dalam sistem listrik *alternating current* (AC) ada tiga jenis daya untuk beban yang memiliki impedansi ( $Z$ ), yaitu: daya semu ( $S$ ) dengan satuannya VA (volt ampere), daya reaktif ( $Q$ ) dengan satuan VAR (Volt Ampere Reaktif), dan daya Aktif ( $P$ ) dengan satuan W (Watt). Hubungan dari ketiga daya pada gambar 3, ( $S$ ,  $Q$ ,  $P$ ) disebut segitiga daya [10], [15].



GAMBAR 1. Segitiga daya

Besarnya nilai daya reaktif ( $Q$ ) dapat menentukan nilai sudut antara daya nyata dan daya semu atau faktor daya ( $\cos \phi$ ). Nilai  $S$  tergantung nilai  $Q$ , bila nilai  $Q$  mencapai 0, maka

nilai S sama dengan nilai P. Daya semu merupakan hasil perkalian antara arus efektif dan beda tegangan efektif. Besar daya semu dapat dinyatakan dengan persamaan (1).

$$S = V \times I \quad (1)$$

Untuk tiga fasa digunakan persamaan (2)

$$S = \sqrt{3} V \times I (VA) \quad (2)$$

Daya aktif (daya nyata) merupakan daya listrik terpakai yang dapat diubah menjadi tenaga mekanik. Besarnya daya aktif dapat dinyatakan dengan persamaan (3).

$$P = V \times I \cos \varphi \text{ ( Watt )} \quad (3)$$

Untuk tiga fasa digunakan rumus :

$$P = \sqrt{3} V \times I \cos \varphi \text{ ( Watt )} \quad (4)$$

Daya reaktif merupakan daya yang diperlukan untuk rangkaian magnetisasi suatu rangkaian listrik. Besarnya daya reaktif dinyatakan dalam persamaan (5).

$$Q = V \times I \sin \varphi \quad (5)$$

Untuk tiga fasa maka:

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \sin \varphi \text{ (VAR)} \quad (6)$$

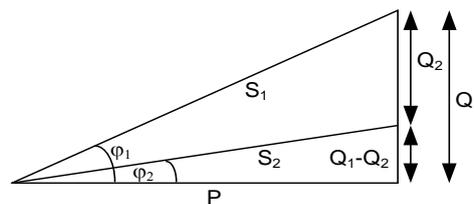
Perbedaan fasa antara arus dan tegangan disebut sudut fasa dan cosinus sudut fasa disebut faktor daya ( $\cos \varphi$ ). Faktor daya merupakan suatu besaran yang dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara daya aktif dengan daya semu, sehingga dapat dirumuskan persamaan (7).

$$\text{Faktor daya} = \cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{V \times I \cos \varphi}{V \times I} \quad (7)$$

Dinamakan sudut fasa, sudut ini menentukan kondisi tegangan mendahului atau tertinggal terhadap arus. Untuk efisiensi atau operasi diusahakan faktor daya ( $\cos \varphi$ ) mendekati satu.

### Memperbaiki Faktor Daya

Gambar 2 memperlihatkan perbaikan factor daya. Ukuran kapasitor untuk memperbaiki faktor daya sistem pada titik-titik tertentu dapat secara manual untuk sistem distribusi yang relatif kecil, KVAR kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya  $\cos \varphi_1$  sampai dengan  $\cos \varphi_2$ .



GAMBAR 2. Diagram daya untuk menentukan kapasitor.

Untuk memperoleh besarnya kapasitor didapat dengan persamaan 8.

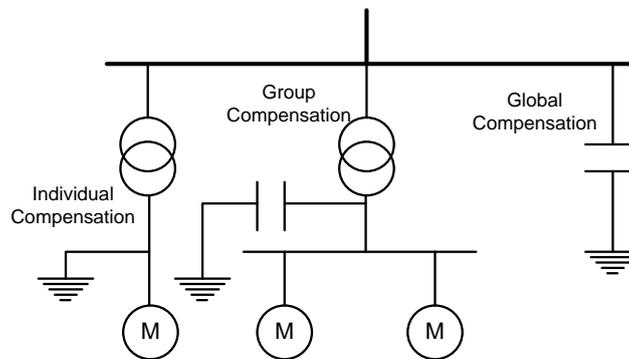
$$Q_c = kW (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (8)$$

### Pemasangan Instalasi *capasitor bank*

Secara umum terdapat 3 metode daalam pemasangan *Capacitor Bank* yaitu *Global Compensation*, *Individual Compensation* dan *Group Compensation*. Ketiga metode tersebut diberikan pada gambar 3.

Pada metode *Global Compensation*, kapasitor diposisikan pada induk panel *Low Voltage main distribution panel* (LVMDP), oleh karenanya arus yang hanya turun pada penghantar

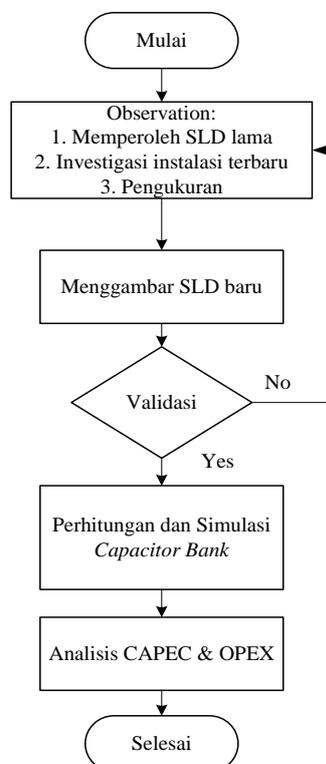
antara panel MDP dan transformator, sedangkan arus yang lewat setelah MDP tidak turun. Dengan metode *Group Compensation*, kapasitor yang mempunyai beberapa panel kapasitor disambung pada panel *Sub Distribution Panel (SDP)*. Sedangkan pada metode *Individual Compensation* pada masing-masing beban dipasangkan kapasitor khususnya yang menyerap daya reaktif yang besar, cara ini lebih efektif dan lebih baik dari segi teknisnya. Namun kekurangannya adalah kapasitor butuh ruang atau tempat untuk meletakkannya.



GAMBAR 3. Metode pemasangan *capacitor bank* [16], [17]

### Capital Expenditure dan Operating Expenditure

*Capital expenditure (CAPEX)* adalah sebuah anggaran atau bentuk investasi yang direncanakan untuk melakukan pembelian/penggantian segala sesuatu yang masuk pada kategori aset perusahaan. Contoh dalam penelitian ini adalah biaya pembelian/penggantian *capacitor bank*. *Operating expenditure (OPEX)* adalah sebuah anggaran atau bentuk investasi yang berkelanjutan dalam suatu perusahaan, contoh dalam penelitian ini adalah biaya tagihan listrik dari PLN.



GAMBAR 4. *Flow chart* penelitian.

### Observasi Lapangan

Kami melakukan observasi lapangan kurang lebih selama 2 minggu. Adanya perubahan instalasi listrik yang tidak tercatat dalam gambar membutuhkan usaha yang lebih dalam observasi ini. Langkah-langkah yang kami lakukan dalam penelitian ini diberikan pada *flow chart* gambar 4.

### Simulasi dan Menentukan Nilai KVAR Kapasitor

Simulasi yang digunakan untuk menganalisa SLD yang dirancang menggunakan perangkat lunak ETAP. Selanjutnya dari simulasi akan dihitung besarnya nilai *capacitor bank*.

### Metodologi Analisis

Dalam sub bab ini akan dilakukan gambar ulang dan perhitungan SLD berdasarkan metode LFA (*Load Flow Analysis*) menggunakan software ETAP. Selanjutnya kami melakukan perhitungan biaya pengadaan material *capacitor bank*. Biaya ini akan kami bandingkan dengan biaya operasional penggunaan listrik tanpa menggunakan kapasitor. Biaya CAPEX akan dikurangi biaya OPEX untuk menghitung *Return of Investment*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil investigasi pertama kami adalah menyusun ulang daftar panel yang ada di PUTR 1. Tabel 1 adalah daftar sub panel yang ada. Dari hasil tabel 1 di atas kami lakukan perhitungan secara manual. Ini dilakukan untuk memperoleh nilai kapasitor yang harus dipasang dalam sistem, dalam perhitungan ini kami gunakan Persamaan 8. Besarnya kVAR dalam sistem adalah 1.699 kVAR dengan kondisi faktor daya 0.79. Target faktor daya kami adalah 0.99 pada 312 kVAR sehingga dibutuhkan tambahan kapasitor sebesar 1.387 kVAR.

TABEL 1. Daftar sub panel PUTR-I

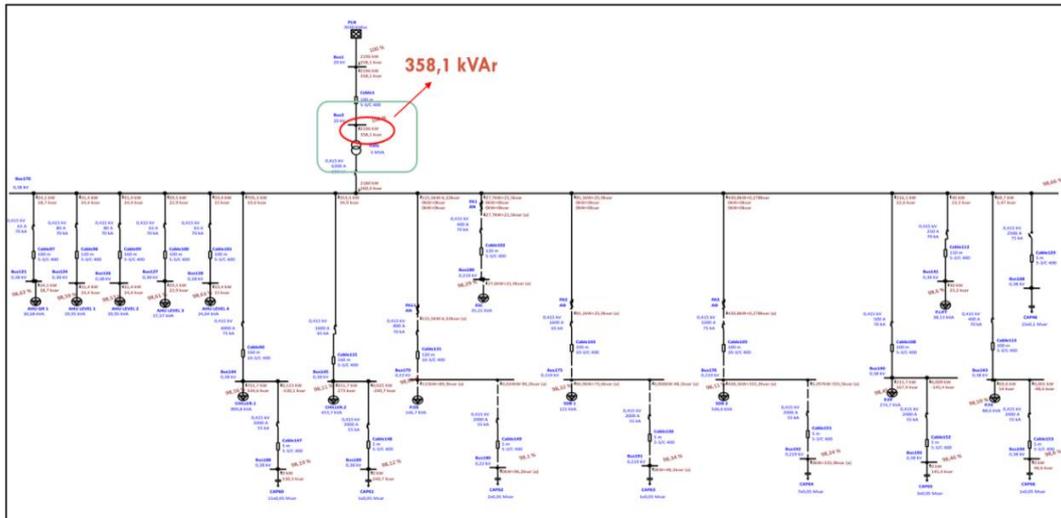
SUB PANEL	DISTANCE (M)	CAPACITY (A)
AHU GR 1	100	63
AHU LVL 1	120	80
AHU LVL 2	160	80
AHU LVL 3	100	63
AHU LVL 4	100	63
CH 1	160	4000
CH 2	160	1600
P. DS	160	800
P. ESC	120	400
SDB 1	100	1600
SDB 2	100	3200
P. FP	100	500
P. LIFT	110	250
P.FK	100	400
CAP. BANK	5	2500

Kami melakukan simulasi dengan metode *Load Flow Analysis* menggunakan perangkat lunak ETAP atas SLD berdasarkan Table 1. Dalam analisis ini kami gunakan parameter panjang dan diameter kabel sesuai dengan yang terpasang di dalam gedung. Kami menggunakan dua metode pendekatan dalam melakukan simulasi. Metode pertama menggunakan metode *Individual Compensation*. Hasilnya diberikan pada gambar 5.

### Capital Expenditure (CAPEX)

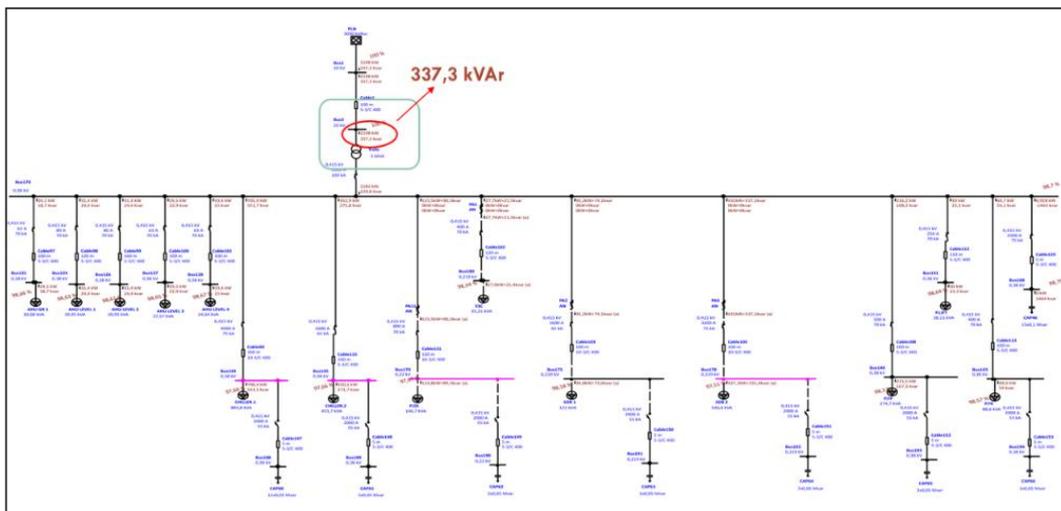
Untuk menghitung besarnya pengadaan kapasitor kami pakai harga satuan yang berlaku pada tahun 2021. Harga tersebut sesuai dengan standar harga Jakarta tahun 2021. Besarnya

biaya CAPEX diberikan pada tabel 1. Dari tabel tersebut diperkirakan investasi sebesar Rp. 250.000.000, -.



GAMBAR 5. Simulasi SLD dengan metode *individual compensation*.

Metode kedua kami gunakan metode *Global Compensation* dan hasilnya diberikan pada gambar 6.



GAMBAR 6. Simulasi SLD dengan metode *global compensation*.

TABEL 2. Estimasi perancangan *capasitor bank*.

No	Nama Equipment	Volume
1	Schneider kapasitor 100 kVAr	15
2	Regulator <i>capasitor bank</i> 12-step	1
3	Kontaktor Schneider LC1F800	12
4	LBS 1600A GAE EVC5P 3P	1
5	Schneider MCCB 200a 3P	12
6	Box panel free standing 200 x 80 x 80	3
7	Canarm exhaust fan 16" in	3
8	lampu indikator panel	3
9	Busbar 3P+NPE	1
10	Control relay omron + socket 1 lot	10
11	Timer H3CR-A8	1
12	Wiring + aksesoris 1 lot	1
15	Instalasi panel kapasitor	1

### Operational Expenditure (OPEX)

Untuk mencari nilai OPEX ini kami gunakan perhitungan tarif ganda sesuai yang diberlakukan PLN yaitu:

1. Waktu Beban Puncak (WBP) antara 19.00 WIB sampai dengan 22.00 WIB selama satu bulan adalah:

$$5 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} = 150 \text{ jam.}$$

2. Sementara besarnya Pemakaian listrik Lewat Waktu Beban Puncak (LWBP) antara jam 10.00 sampai dengan 17.00 adalah:

$$7 \times 30 \text{ hari} \text{ atau } 210 \text{ jam.}$$

Kami menggunakan hasil analisis simulasi ETAP berupa rugi-rugi energi sebelum menggunakan kapasitor sebesar 36.1 kW, dengan kapasitor metode kompensasi individu 22.2 kW dan metode kompensasi global 26.4 kW.

Dalam tabel 3 kami sajikan perhitungan OPEX untuk mengetahui biaya yang dapat dihemat dalam operasional gedung. Kami membandingkan kedua metode pemasangan kapasitor.

TABEL 3. Perbandingan jenis kompensasi kapasitor.

Parameter	Tanpa Kapasitor	Kompensasi Individu	Kompensasi Global
Losses (kW)	36,1	22,2	26,4
Margin (kW)	0	13,9	9,7
WBP hours (hrs)	150	150	150
LWBP hours (hrs)	210	210	210
WBP (kWh)	0	2085	1455
LWBP (kWh)	0	2919	2037
Safety Cost WBP (K = 1.5)*	0	3.239.401,95	2.260.589,85
Safety Cost LWBP	0	3.023.441,82	2.109.883,86
Total Cost	0	6.262.843,77	4.370.473,71

\*) = 1 kWh = Rp. 1.035.78

Dari tabel 3, diperoleh bahwa dengan dipasangnya *capacitor bank* yang sesuai, maka biaya operasional berkurang. Jika digunakan *Individual Compensation* maka biaya mengalami *return of investment* pada bulan ke-40, hal ini karena biaya yang dapat dihemat sebesar Rp. 6.262.843.77. Bila menggunakan metode Global Compensation akan memperoleh RoI pada bulan ke-57 dengan biaya penghematan Rp. 4.370.473,71. Kelemahan metode kompensasi individu adalah dibutuhkan banyak panel *capacitor bank*. Ini akan berdampak memakan tempat yang cukup banyak. Dengan menjaga suhu panel *capacitor bank*, dan perawatan panel akan memberikan usia perangkat ini cukup baik.

### KESIMPULAN

Melalui *Load Flow Analysis* dengan metode kompensasi individu terjadi perbaikan faktor daya yang semula 0.85 menjadi 0.99. Nilai ini menghasilkan penghematan daya sebesar 13.9 kW/jam dan biaya operasional menjadi sekitar Rp. 6.262.843.77/bulan sementara pada metode kompensasi global penghematan daya sebesar 9.7 kW atau setara Rp. 4.370.473,71/bulan. Biaya investasi akan mengalami RoI pada bulan ke-40 kompensasi individu sedangkan kompensasi global pada bulan ke-57. Pekerjaan ke depan sebaiknya *Capacitor Bank* yang dipakai harus sesuai nilainya dengan beban yang sedang beroperasi. Bila berlebihan akan berakibat kapasitif dan ini merugikan konsumen, untuk itu regulator kVAR harus dalam kondisi otomatis.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. F. Teknik, "Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral

- dan Loses pada Trafo Distribusi Studi Kasus Pada PT PLN (Persero) Rayon Blora,” 2018.
- [2] Jumadi, “Analisis pengaruh jenis beban listrik terhadap kinerja pemutus daya listrik di gedung cyber jakarta,” *J. Energi Kelistrikan*, vol. 7, no. 2, pp. 108–117, 2015.
- [3] Y. Yuniarto and E. Ariyanto, “Korektor Faktor Daya Otomatis Pada Instalasi Listrik Rumah Tangga,” *Gema Teknol.*, vol. 19, no. 4, p. 24, 2018, doi: 10.14710/gt.v19i4.19153.
- [4] B. Firman, H. Santoso, S. Priyambodo, and H. P. Suseno, “Implementasi Sistem Data Logger pada Alat Pemantau Energi Listrik Motor Induksi 3-Fasa Berbasis Arduino Mega 2560 di PT Madu Baru Yogyakarta,” vol. 4, no. 1, pp. 109–122, 2022.
- [5] E. M. Ellahi, P. S. A. Qureshi, and M. Iqbal, “Power Factor Monitoring and Load Management Using Smart Metering Techniques,” vol. 2, no. 12, pp. 1662–1665, 2013.
- [6] Y. Esye and S. Lesmana, “Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan,” *Sains Teknol.*, vol. 11, no. 1, pp. 105–106, 2021.
- [7] N. Sari, Y. Away, and S. Suriadi, “Desain Perangkat Monitoring Faktor Daya Pada Sistem Pv on-Grid Berbasis Iot,” *J. Komputer, Inf. Teknol. dan Elektro*, vol. 5, no. 3, pp. 25–32, 2020, doi: 10.24815/kitektro.v5i3.17797.
- [8] A. Yani, “Pemasangan Kapasitor Bank untuk Perbaikan Faktor Daya,” *J. Electr. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 31–35, 2017.
- [9] R. A. Dedzky and F. Atabiq, “Perbaikan Faktor Daya Pada Peralatan Listrik Rumah Tangga,” *J. Appl. Sci. Electr. Eng. Comput. Technol.*, vol. 1, no. 3, pp. 23–29, 2020, doi: 10.30871/aseect.v1i3.2385.
- [10] S. S. Shrawane *et al.*, “Simulation and Load Flow Analysis of Interconnection System,” *IEEE Access*, vol. 8, no. 1, pp. 114–121, 2018, doi: 10.47313/jig.v23i1.867.
- [11] M. A. Ullah, A. Qaiser, Q. Saeed, A. R. Abbasi, I. Ahmed, and A. Q. Soomro, “Load flow, voltage stability & short circuit analyses and remedies for a 1240 MW combined cycle power plant using ETAP,” *ICIEECT 2017 - Int. Conf. Innov. Electr. Eng. Comput. Technol. 2017, Proc.*, no. April, 2017, doi: 10.1109/ICIEECT.2017.7916568.
- [12] M. R. Djalal, M. Saini, and A. S. Yunus, “Load Flow Analysis After the Entry of Renewable Power Plants in the Sulsehrabar System,” *J. Electr. Technol. UMY*, vol. 5, no. 2, pp. 80–87, 2021, doi: 10.18196/jet.v5i2.12897.
- [13] J. Y. Kim, N. O. Song, B. H. Jung, H. Leem, and D. K. Sung, “Placement of WiFi access points for efficient WiFi offloading in an overlay network,” *IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC*, pp. 3066–3070, 2013, doi: 10.1109/PIMRC.2013.6666673.
- [14] T. Yuwanto, “Analisis Tekno Ekonomi Biaya Capex dan Opex Implementasi Jaringan Long Term Evolution Area Banten,” *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 8, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.22441/incomtech.v8i1.2142.
- [15] A. Dani and M. Hasanuddin, “Perbaikan Faktor Daya Sebagai Kompensator Daya Reaktif ( Studi Kasus STT Sinar Husni ),” *Semin. Nas. R.*, vol. 998, no. September, pp. 673–678, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.stmikroyal.ac.id/index.php/senar/article/download/268/211>.
- [16] I. B. G. M. I Dewa Gede Wiadnya Wiantara1, I Made Mataram2, “Penggunaan Kapasitor Bank Untuk Memperbaiki Faktor Daya Dan Mengurangi Rugi-Rugi Daya Menggunakan Fuzzy Logic Controller Di Quest Hotel Kuta Badung,” vol. 7, no. 1, pp. 102–108, 2020.
- [17] K. Alland and E. Arfah Z., “Perancangan Kebutuhan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Line Mess I Di Pt. Bumi Lamongan Sejati (Wbl),” *J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 29–35, 2013.