

Rancang Bangun Simulator Perbaikan Faktor Daya Listrik 3 Fasa dengan Sistem Kendali Otomatis

Akhwan

akhwan@ppi.ac.id

Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

Andri Pradipta

andri@ppi.ac.id

Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

Bambang Gunari

bambang@ppi.ac.id

Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

Abstrak

Dalam suatu system tenaga listrik permasalahan yang umum terjadi adalah fluktuasi beban yang tidak menentu. Hal ini akan menyebabkan faktor daya system berubah – ubah sesuai dengan perubahan jumlah beban listrik dan variasi beban listrik. Solusi untuk mengatasi permasalahan faktor daya listrik adalah kapasitor bank. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperbaiki faktor daya system 3 fasa yang dapat bekerja secara adaptif dalam merespon perubahan beban dan variasi beban listrik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan membuat rancang bangun simulator perbaikan faktor daya 3 fasa yang dilengkapi dengan system kendali otomatis untuk dapat mencapai nilai faktor daya yang baik. System kendali otomatis ini akan bekerja berdasarkan hasil pengukuran faktor daya system yang selanjutnya akan digunakan untuk mencari nilai kapasitas kapasitor bank yang dibutuhkan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai faktor daya system secara bertahap berhasil diperbaiki. Nilai faktor daya mencapai 0.73 dan mendekati nilai set poin sebesar 0.85.

Kata Kunci — fluktuasi beban, system 3 fasa, power faktor, sistem kendali otomatis.

Abstract

In an electric power system, a common problem is an unstable load fluctuation. This will cause the system power factor to change according to changes in the amount of electrical load and variations in electrical load. The solution to overcome the problem of electric power factor is a capacitor bank. The purpose of this study is to improve the power factor of a 3-phase system that can work adaptively in response to changes in load and variations in electrical loads. The method used in this research is to design a 3-phase power factor improvement that is equipped with an automatic control system to achieve a good power factor value. This automatic control

system will work based on the results of the system power factor measurement which will then be used to find the required capacitor bank capacity value. The results of this study indicate that the system power factor value has been gradually improved. The power factor shown at 0.73 which is close to the set point at 0.85.

Keywords — load fluctuation, 3-phase system, power factor, automatic control system.

I. PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik merupakan salah satu permasalahan penting yang harus diperhatikan pada zaman ini dimana penggunaan listrik menjadi kebutuhan primer masyarakat. Beberapa hasil revidi dari para ahli dan pakar dibidang kualitas daya listrik menunjukkan bahwa banyak sekali faktor penyebab gangguan kualitas daya listrik [1]–[4]. Salah satu parameter kelistrikan dalam jaringan listrik selain fluktuasi tegangan adalah faktor daya. Nilai dari faktor daya listrik berkisar antara 0 sampai dengan 1. Sedangkan faktor daya listrik dinilai baik jika nilainya adalah mendekati 1. Nilai faktor daya listrik dapat dipengaruhi oleh perbandingan jumlah daya reaktif pada beban. faktor daya mempengaruhi banyak hal dalam penerapan ketenagalistrikan pada jaringan distribusi [5], [6], pemakaian daya aktif [7], terkait efisiensi energi, pengaturan beban listrik, pemerataan penggunaan energi listrik secara optimal bagi masyarakat, dan masalah pembiayaan rutin yang harus dikeluarkan [6]. Bagi seorang teknisi atau praktisi di bidang kelistrikan wajib memahami parameter kualitas daya listrik dikatakan baik dan cara melakukan perbaikan kualitas daya listrik.

Upaya untuk memperbaiki masalah faktor daya listrik dapat dilakukan dengan pemasangan kapasitor bank. Kapasitor bank dapat mensuplai daya reaktif pada system karena sifat dari kapasitor adalah bersifat kapasitif. Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan pemasangan kapasitor bank pada industri semen [7] hasilnya mampu meningkatkan

pemakaian daya aktif, selain itu sebuah studi melalui simulasi juga dilakukan pemasangan kapasitor bank pada jaringan distribusi untuk meminimalkan rugi – rugi saluran [6]. Pada eksperimen skala lab juga pernah dibuat simulator perbaikan faktor daya listrik berbasis mikrokontroler pada jaringan listrik 1 fasa [8].

Pada penelitian ini dilakukan perancangan simulator perbaikan faktor daya listrik pada system tiga fasa dengan power factor correction. Hasil eksperimen dari rangkaian kompensator faktor daya listrik telah diuji untuk dapat memperbaiki nilai faktor daya pada system. Diharapkan bisa memberi pembelajaran dalam hal perbaikan faktor daya listrik dan menjadi referensi penelitian perbaikan faktor daya listrik berikutnya.

II. TEORI PENDUKUNG

Untuk dapat memahami konsep perbaikan faktor daya dibutuhkan pemahaman teori mengenai macam – macam daya listrik melalui segitiga daya dan faktor daya.

A. Daya listrik 3 fasa

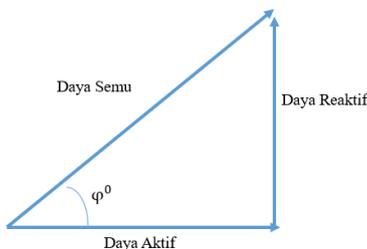
Dalam listrik arus bolak-balik (AC) terdapat tiga jenis daya yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu. Pemakaian dari daya listrik dipengaruhi oleh sifat beban listrik terpasang. Beban listrik terbagi menjadi beban aktif, beban pasif dan beban campuran. Beban aktif merupakan beban yang mengandung bahan semikonduktor. Sedangkan beban pasif terdiri dari 3 jenis sifat beban yaitu resistif, induktif dan kapasitif. Daya aktif dibutuhkan oleh beban yang bersifat resistif untuk dapat dikonversi menjadi bentuk energy yang lain yaitu dalam bentuk panas dan cahaya. Sedangkan daya reaktif dibutuhkan oleh beban yang bersifat induktif untuk dapat menghasilkan medan elektromagnet. Representasi rumus daya listrik tiga fasa seimbang dapat dinyatakan menjadi 3 kali daya satu fasa. Untuk dapat memahami hubungan dari daya listrik dapat digambarkan melalui segitiga daya. Pengertian umum dari segitiga daya adalah suatu hubungan antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif, yang dapat digambarkan dalam bentuk vektor segitiga yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Daya Listrik 3 fasa jika dilihat dari parameter tegangan fasa ke netral dapat dinyatakan menggunakan persamaan berikut :

$$S = 3 \times V_{L-N} \times I_L \tag{1}$$

$$P_{3\phi} = 3 \times V_{L-N} \times I_L \times \cos \phi \tag{2}$$

$$Q_{3\phi} = 3 \times V_{L-N} \times I_L \times \sin \phi \tag{3}$$



Gbr 1. Segitiga daya

S merupakan daya semu (Volt Ampere), V_{L-N} merupakan tegangan fasa ke netral (Volt), sedangkan I merupakan Arus fasa (Ampere), P merupakan daya aktif (Watt), sedangkan ϕ merupakan sudut fasa, dan Q merupakan daya reaktif (Volt Ampere Reaktif) [9]. Jika dilihat dari parameter tegangan antar fasa (L-L) maka persamaan daya menjadi :

$$S = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \tag{4}$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \cos \phi \tag{5}$$

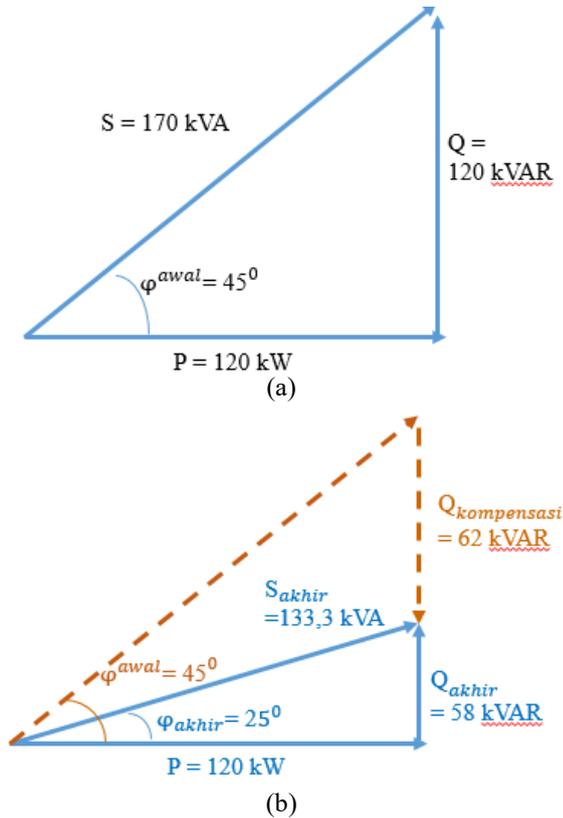
$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \sin \phi \tag{6}$$

Dengan V_{L-L} merupakan tegangan antar fasa (Volt)

B. Faktor Daya

Faktor daya adalah rasio perbandingan antara daya aktif (kW) dan daya semu (kVA) dari beban listrik. Rumus matematis dari faktor daya adalah $\cos \phi$. kW adalah satuan pengukuran daya aktif dalam kilowatt. kVA adalah satuan pengukuran daya semu dalam kilovolt-ampere. Sedangkan kVAR adalah satuan pengukuran daya reaktif dalam kilovolt-ampere-reaktif. Konsep nilai Faktor daya adalah ukuran dari efisiensi dari pemakaian energi listrik yang dikonversi kedalam bentuk energi yang lain. Bentuk energy listrik yang digunakan untuk menghasilkan medan electromagnet dalam proses inilah faktor daya mengambil nilai antara nol dan satu. Beban induktif dimanapun akan menyebabkan pengurangan faktor daya. Alasan utama faktor daya rendah adalah beban induktif seperti motor induktif dan transformator yang membutuhkan arus untuk menghasilkan medan magnet untuk beroperasi. Ketika faktor daya kurang dari satu, daya semu yang disuplai ke beban lebih besar dari kekuatan yang sebenarnya [3]. Pada rangkaian ac umumnya terdapat beda fasa antara tegangan dan arus. Istilah ini dikenal sebagai faktor daya dari sirkuit. Jika rangkaiannya induktif, arusnya tertinggal di belakang tegangan dan faktor daya disebut faktor daya lagging, dan jika rangkaian kapasitif maka arus mendahului tegangan dan faktor daya dikatakan sebagai faktor daya leading [10].

Peningkatan nilai faktor daya dapat dilakukan dengan pemasangan sebuah atau beberapa rangkaian kapasitor. Pada konsumen rumah tinggal, sudah mulai terdapat pemasangan rangkaian kapasitor, walau hanya beberapa rumah. Namun pemasangan rangkaian kapasitor ini juga mempunyai keterbatasan, karena rangkaian kapasitor yang dipasang memiliki nilai kapasitansi yang cenderung tetap sedangkan konsumen rumah tinggal tidak selalu menggunakan beban induktif yang sama pada waktu yang sama pula. Dalam hal ini, rangkaian kapasitor hanya mampu bekerja maksimum sesuai dengan nilai kapasitansinya. Pada saat beban induktif bertambah, maka kemampuan perbaikan faktor daya oleh rangkaian kapasitor juga berkurang. [11]. Cara untuk menganalisis menggunakan konsep segitiga daya yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gbr 2. Analisis kompensasi daya reaktif, (a) Kondisi segitiga daya saat $Pf = 0,7$ legging, (b) Kondisi segitiga daya saat $Pf = 0,9$ legging

Keterangan :

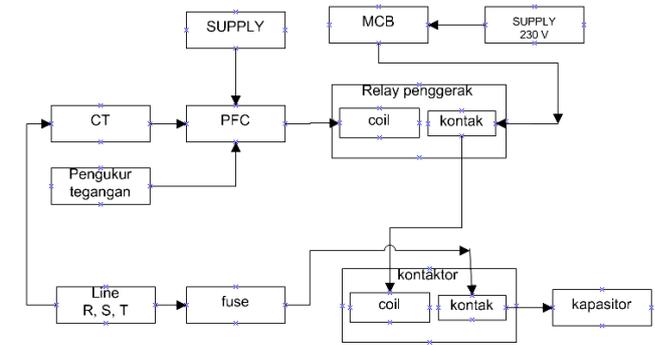
- S : daya Semu sebelum penggunaan kapasitor
- Sakhir : daya semu setelah penggunaan kapasitor
- ϕ_{awal} : sudut sebelum penggunaan kapasitor
- ϕ_{akhir} : sudut setelah penggunaan kapasitor
- Q : daya Reaktif sebelum pemasangan kapasitor
- Qkompensasi : pengurangan daya reaktif akibat pemasangan kapasitor
- Qakhir : daya reaktif setelah pemasangan kapasitor.

III. METODE DAN PERANCANGAN

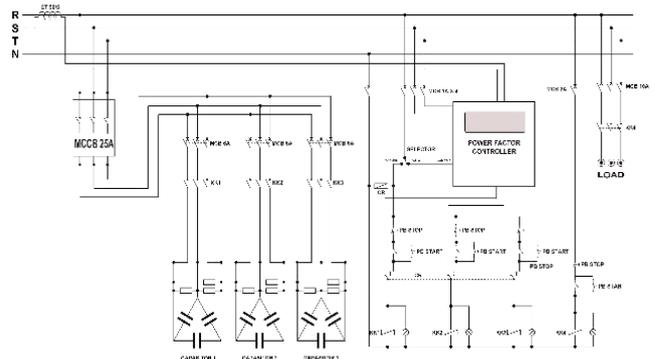
Pada dasarnya sistem ini berupa switching kapasitor yang dipasang paralel pada jaringan listrik. Untuk sistem tiga fasa, kapasitor bank yang digunakan juga kapasitor tiga fasa. Pemberian nilai kapasitor ini didasarkan pada pengukuran sudut fasa antara arus dan tegangan yang diambil dari CT (Current Transformer) untuk pengukuran arus dan alat pengukur tegangan untuk mengukur tegangan. Kemudian akan dibandingkan dengan set poin yang disetting pada PFC (Power Faktor Controller). Sehingga nantinya akan didapatkan beberapa parameter pengukuran pada PFC yaitu tegangan line (Volt), Arus terukur (Ampere), daya reaktif (kVAR), daya aktif (kW), daya semu (kVA), selisih daya reaktif dengan setting (kVAR), frekuensi (Hz), Suhu ($^{\circ}C$), Harmonisa V dan I, THD (Total Harmonic Distortion) V dan I (%) sebagai parameter berapa nilai kapasitor yang dipasang. Blok diagram dari simulator perbaikan faktor daya 3 fasa

ditunjukkan pada Gambar 1. Sedangkan Konsep pengendalian dari PFC ditunjukkan pada Gambar 3.

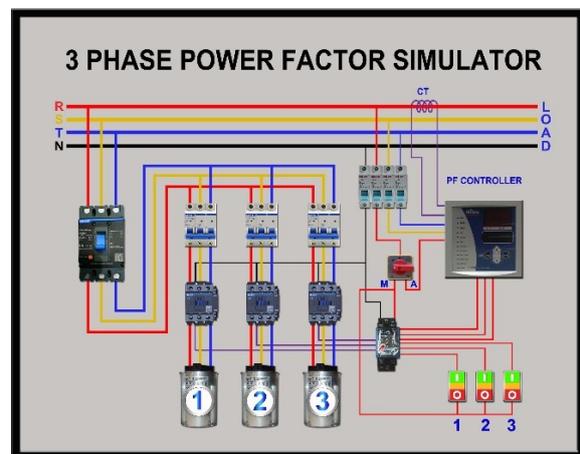
Simulator ini didesain dengan input terminal 3 fasa yang dilengkapi dengan proteksinya, 1 terminal untuk beban 3 fasa, 3 step kapasitor yang dirangkai segitiga atau hubungan delta, 3 buah tombol untuk mode operasi manual dan dilengkapi dengan controller power factor yang diagram perkawatannya ditunjukkan pada Gambar 4 sedangkan tampilan desain simulatornya ditunjukkan pada Gambar 5. Desain simulator ini dibuat berdasarkan spesifikasi komponen seperti tertera pada tabel 1 dan spesifikasi beban pada Tabel 2.



Gbr 3. Blok Diagram sistem power factor controller



Gbr 4. Diagram perkawatan simulator perbaikan faktor daya 3 fasa



Gbr 5. Rancangan desain simulator perbaikan faktor daya 3 fasa

Prinsip perbaikan faktor daya pada rangkaian 1 phase dengan 3 phase adalah sama, yaitu penggunaan variasi kapasitor, namun pada rancangan simulator 3 phase ini dilengkapi dengan PF (power Faktor) controller, artinya bahwa pemilihan kapasitor yang paling sesuai dapat dilakukan secara otomatis dengan bantuan mikrokontroler. Peneliti tetap dapat memilih 2 mode yang disediakan, yaitu mode manual atau mode otomatis. Pilihan ini dilakukan dengan mengatur saklar selektor. Kontroller ini disuplai dengan tegangan standart yaitu 230 VAC (L-N), tegangan ukur 30-300 VAC (L-N) 50/60 Hz dan arus ukurnya sesuai perencanaan. simulator ini dapat diatur settingnya menjadi Automatic, Programming dan Manual Operation.

TABEL 1.
SPESIFIKASI KOMPONEN

Nama komponen	spesifikasi
Kapasitor 3 Fasa	Merk SYC; 3 x 9,3 uF; 1,5Kvar; 415V; 2,1A
MCB 3 Fasa	Merk : CHNT ; 6 A; 3 fasa
Relay Kontaktor	CHNT, NXB-63, C40
Relay multi kontak	11 terminal Kontak 250VAC/28VDC 10A
MCCB 3 Fasa	Merk : CHNT; 25 A; 3 fasa
Selector Switch	Manual / Auto
Push Button	On/off
CT	50/5 A
PFC	Mikro, PFR60

TABEL 2.
SPESIFIKASI BEBAN

Nama komponen	spesifikasi
Motor 3 Fasa	7,5 kW; 380/660V; 15,6/9A; 50 Hz; $\cos \phi$ 0,84; merk
Lampu Bolam	3 x 100 W

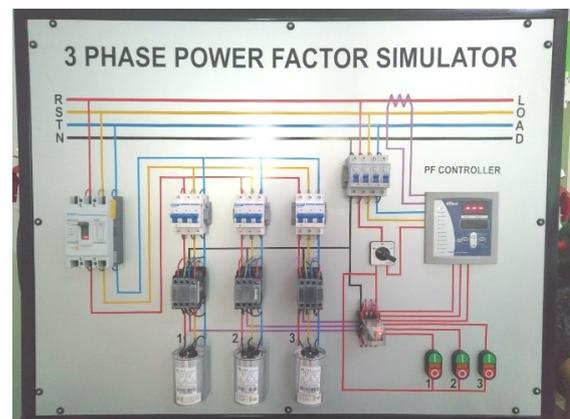
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil implementasi pembuatan simulator ditunjukkan pada Gambar 6. Simulator ini diuji dengan 2 mode operasi yaitu mode operasi manual dan mode operasi otomatis. Dalam pengujian ini simulator dihubungkan dengan sumber jala jala 3 fasa sebagai catu dayanya. Dalam pengujian ini digunakan 2 tipe beban yaitu beban resistif menggunakan lampu bolam dan beban induktif menggunakan motor induksi 3 fasa.

Pada pengujian mode operasi manual didapatkan data sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. hasilnya pada pengujian dengan beban lampu bolam, nilai power faktor

system adalah 1. ini menunjukkan bahwa power faktor system dalam kondisi baik. pada beban motor tanpa beban didapatkan nilai power faktor system berada di level 0,22. ini menunjukkan power faktor beban motor sangat rendah dan dikarenakan tidak terbebani. hal ini akan dibandingkan dengan setelah pemasangan kapasitor bank pada pengujian operasi manual. hasil setelah pemasangan 1 unit kapasitor didapatkan nilai faktor dayanya naik menjadi 0,26, kemudian dengan 2 unit kapasitor nilai faktor dayanya naik menjadi 0,37. dan pada penambahan 3 unit kapasitor didapatkan nilai faktor dayanya naik menjadi 0,71. hasil dari penambahan unit kapasitor ini berdampak pada nilai daya yang dikonsumsi menjadi turun yang dapat juga dilihat dari nilai arusnya. hal ini dapat mengurangi biaya operasional motor induksi 3 fasa.

Pengujian mode otomatis ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil dari pengujian dengan mode operasi auto menunjukkan nilai faktor daya system secara bertahap mendekati nilai set poin yang ditentukan yaitu 0,85, namun dalam eksperimen nilai akhir yang didapatkan berkisar 0,73, hal ini dikarenakan variasi jumlah kapasitor bank sedikit dan step kapasitas kapasitor bank yang besar sedangkan beban motor yang digunakan daya reaktifnya melebihi kapasitas kapasitor yang digunakan dalam penerapan.



Gbr 6. Implementasi pembuatan simulator

TABEL 3
Hasil Pengujian Alat Saat Mode Operasi Manual

No.	Beban	V(volt)	I (A)	Cosq	P (W)	Ket
1	Motor tanpa beban	394	0,69	0,22	103,5	Tanpa kapasitor
2	Motor tanpa beban	394	0,49	0,26	86,94	+ Kapasitor 3x9,3uF
3	Motor tanpa beban	394	0,31	0,37	78,2	+ Kapasitor 2x3x9,3uF
4	Motor tanpa beban	394	0,12	0,71	58,14	+ Kapasitor 3x3x9,3uF
5	Lampu	394	0,26	1	312	Tanpa kapasitor

TABEL 4
hasil pengujian alat saat mode operasi auto

No.	Beban	V(volt)	I (A)	Cosq	P (W)	Ket
1	Motor	394	0,12	0,71	58,1	Posisi Kapasitor di 3x3x9,3uF
2	Lampu bolam 3	394	0,26	1	312	Kapasitor tdk ada yang tersambung

[11]H. Hatma and T. Bini, "ALAT KOREKSI FAKTOR DAYA PADA INSTALASI LISTRIK RUMAH TINGGAL 3 PHASA BERBASIS MIKROKONTROLER ATmega 8535," *J. Teknol. Elekterika*, vol. 16, no. 1, p. 29, 2019, doi: 10.31963/elekterika.v16i1.2011.

V. KESIMPULAN

Dari perancangan dan implementasi simulator perbaikan faktor daya 3 fasa didapatkan hasil bahwa dengan penambahan kapasitor bank akan menyebabkan faktor daya menjadi naik. Hal ini berdampak pada daya yang dikonsumsi oleh beban induktif berupa motor induksi 3 fasa menjadi turun dengan performa yang sama. Dengan demikian jika dipasang pada system dengan beban induktif motor yang banyak, akan dapat menurunkan biaya operasi pemakaian motor induksi 3 fasa.

REFERENSI

[1] S. Khan, B. Singh, and P. Makhija, "A review on power quality problems and its improvement techniques," in *2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, Apr. 2017, pp. 1–7. doi: 10.1109/IPACT.2017.8244882.

[2] A. Arranz-Gimon, A. Zorita-Lamadrid, D. Morinigo-Sotelo, and O. Duque-Perez, "A Review of Total Harmonic Distortion Factors for the Measurement of Harmonic and Interharmonic Pollution in Modern Power Systems," *Energies*, vol. 14, no. 20, Art. no. 20, Jan. 2021, doi: 10.3390/en14206467.

[3] I. Introduction, "Power Factor In Electrical Networks Eng: Fhaid Basheer Aldousari," vol. 8, no. 2, pp. 41–44, 2018, doi: 10.9790/9622-0802034144.

[4] A. Ojo, K. Awodele, and A. Sebitosi, "Power Quality Monitoring and Assessment of a Typical Commercial Building," in *2019 IEEE AFRICON*, Sep. 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/AFRICON46755.2019.9133970.

[5] A. B. Setyarso, O. Penangsang, and R. S. Wibowo, "Penentuan Daya Reaktif Untuk Perbaikan Kualitas Daya Berdasarkan Voltage State Estimation Pada Jaringan Distribusi Radial 20 KV Di Surabaya," *J. Tek. ITS*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, Sep. 2013, doi: 10.12962/j23373539.v2i2.3378.

[6] A. H. Rahman, A. Hidayatullah, A. N. Ulfa, R. Z. Ahmad, and J. T. Putra, "Improvement of the power factor on the distribution line feeder Sutami 23 Lampung using capacitor bank and SVC with ETAP 12.6 simulation," *Tek. J. Sains Dan Teknol.*, vol. 17, no. 2, Art. no. 2, Oct. 2021, doi: 10.36055/tjst.v17i2.11729.

[7] H. Umran, "STUDY AND ANALYSIS FOR THE EFFECTS OF POWER FACTOR CORRECTION IN AL-NAJAF CEMENT PLANT," vol. 8, pp. 59–72, Jan. 2015.

[8] A. Aripriharta, N. Mardianto, H. Amri, and M. Muhamis, "Rancang Bangun Simulator Perbaikan Faktor Daya Listrik Sebagai Modul Praktikum di Laboratorium Elektronika Daya," *INOVTEK - Seri Elektro*, vol. 2, p. 56, May 2020, doi: 10.35314/ise.v2i1.1274.

[9] M. Butarbutar and M. Riyanto, "Manajemen Sisi Beban dan Optimalisasi Tingkat Konsumsi Energi Di SMK Negeri 2 Pontianak," *Elkha*, vol. 10, no. 1, p. 41, 2019, doi: 10.26418/elkha.v10i1.25331.

[10] V. K. G. Sapna Khanchi#1, "On line power factor improvement of induction motors," *Int. J. Eng. Trends Technol. IJETT - Vol. 4 Issue 7- July 2013 Power*, vol. 35 n 6, no. 7, pp. 1509–1513, 1988, doi: 10.1109/ias.1988.25257.

