

Pengaruh Penambahan Kapasitor Bank terhadap Perbaikan Daya pada *Direct On Line* (DOL) Berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) di Motor Listrik 3 Phase

The Effect of Adding Capacitor Bank on Power Improvement in Direct On-Line (DOL) Based on Programmable Logic Controller (PLC) in Three-Phase Electric Motor

Rizki Noor Prasetyono ^{*1}, Rizky Mubarak ², Rito Cipta Sigitta H. ³, M. Zidan Alfariqi⁴, Nasrulloh⁵, Randi Adzin Murdiantoro⁶

^{1,2,4,5,6}*Program Studi Teknik Elektro, FST, Universitas Peradaban
Jalan Raya Pagojengan Km. 3 Paguyangan Kabupaten Brebes, Jawa Tengah Kode Pos: 52276*

³*Program Studi Informatika, Universitas Bhamada Slawi
Jalan Raya Pagojengan Km. 3 Paguyangan Kabupaten Brebes, Jawa Tengah Kode Pos: 52276*

^{*1}Corresponding author: rizkinoorpb@peradaban.ac.id
²rizkymubarak@peradaban.ac.id, ³rintocipta@bhamada.ac.id, ⁴teperadaban@gmail.com,
⁵arul.ste@gmail.com, ⁶randi.adzin.m@gmail.com

Received on 11-05-2023, accepted on 13-07-2023, published on 22-07-2023

Abstrak

Tujuan penelitian ini mengetahui pengaruh penambahan kapasitor bank terhadap Perbaikan Daya pada *Direct On Line* (DOL) berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) di Motor Listrik 3 Phase. Mayoritas beban di industri memakai beban motor induksi 3 phase yang merupakan beban induktif. Keuntungan motor listrik 3 phase tersebut dan negara yang masih mensubsidi konsumsi listrik. Hal ini merupakan suatu indikasi setiap konsumen dapat melakukan perbaikan faktor daya dengan tujuan efisiensi daya. Penelitian yang digunakan adalah jenis kuantitatif dengan mengeksperimentalkan penambahan kapasitor bank pada motor 3 phase. Melalui tahapan perancangan alat, pengujian alat pengambilan data faktor daya & efisiensi, analisis data dan penarikan kesimpulan. Hasil penelitian penggunaan kapasitor bank berpengaruh pada perbaikan faktor daya yang ditunjukkan dari signifikasni $0,001 < 0,05$ pada rangkaian DOL di motor listrik 3 fasa berbasis PLC. Diperkuat dengan nilai rata-rata $\cos \phi$ sesudah penggunaan kapasitor bank memiliki nilai 0,912 yang artinya sudah sesuai standar PLN yaitu nilai 0,9. $\cos \phi$ mendekati angka 1 dapat dikatakan penggunaan listrik lebih efisien. Dapat dilihat dari nilai rata-rata efisiensi sebelum dan sesudah yaitu 68,29% menjadi 91,17% artinya mengalami peningkatan.

Kata kunci: Kapasitor Bank, Perbaikan Daya, *Direct On Line* (DOL), *Programmable Logic Controller* (PLC), Motor Listrik 3 Phase

Abstract

The purpose of this study was to determine the effect of adding capacitor bank on Power Improvement on Direct On Line (DOL) based on Programmable Logic Controller (PLC) in 3-Phase Electric Motor. The majority of loads in industry uses 3-phase induction motor loads which are inductive loads. The 3-phase electric motor gives advantage for the country which is still subsidizing electricity consumption. It indicates that every consumer can make improvements to the power factor for the purpose of power efficiency. The research was a quantitative one. The

experiments were conducted by adding capacitor bank to 3-phase motor. After carrying out the stages of tool design, power factor and efficiency testing, data collection, data analysis, and conclusions, the result showed that the use of capacitor bank had effect on power factor improvement in Direct On-Line (DOL) based on Programmable Logic Controller (PLC) in 3-phase electric motor, indicated by a significance of $0.001 < 0.05$. In addition, the average value of $\cos \phi$ after using capacitor bank was 0.912, which was in line with the standard set by PLN, namely 0.9. $\cos \phi$ was close to 1. It means that the use of electricity was more efficient. The average value of efficiency before and after, namely 68.29% to 91.17%, had increased.

Keywords: Capacitor Bank, Power Repair, Direct On Line (DOL), Programmable Logic Controller (PLC), 3 Phase Electric Motor

I. PENDAHULUAN

Sebagian besar industri banyak menggunakan beban induktif yang memiliki faktor daya yang rendah. Seperti pada penelitian Eysel dkk [1] sistem kelistrikan yang mengalami penurunan faktor daya mengakibatkan penurunan kualitas daya. Jika faktor daya dari alat tersebut rendah maka akan mengganggu kinerja dari alat elektronik. Semakin meningkatnya konsumsi beban induktif maka menghasilkan daya reaktif yang terus bertambah akibatnya suplai daya listrik yang naik. Karena dalam jenis motor listrik apapun untuk menjaga kondisi perubahan fluks yang fluktuatif melalui daya reaktif yang besar [2]. Keadaan tersebut mengakibatkan tegangan jatuh, meningkatnya arus dan faktor daya yang semakin berkurang pada jaringan yang dekat pada beban. Mayoritas beban di industri memakai beban motor induksi 3 phase yang merupakan beban induktif. Motor induksi 3 fasa bekerja melalui pemanfaatan perubahan fluks medan magnet dari sumber tegangan dan arus yang mengalir pada motor [3], [4]. Prinsip kerja dari motor induksi 3 phase yaitu apabila belitan stator diberikan arus stator menimbulkan medan magnet, sehingga rotor bergerak dengan [5], [6]. Karena perawatan dan dioperasikan mudah, motor listrik 3 fasa digunakan sebagai alat penggerak. Kemudian yang lebih menarik lagi motor listrik 3 fasa lebih hemat konsumsi energi [7].

Keuntungan motor listrik 3 phase tersebut dan negara yang masih mensubsidi konsumsi listrik. Hal ini merupakan suatu indikasi setiap konsumen dapat melakukan perbaikan faktor daya dengan tujuan efisiensi daya. Untuk melakukan perbaikan daya pada beban induktif yaitu dengan pemasangan kapasitor bank. Penelitian Rofii dkk, [8] juga menunjukkan pengaruh kapasitor bank yang signifikan dalam perbaikan daya khususnya dalam pehematan energi listrik. Seperti pada penelitian Basudewa [9] kapasitor bank mampu menghemat konsumsi daya dengan estimasi pehematan energy selama 4 bulan. Motor induksi 3 phase diperlukan rangkaian kontrol untuk pengasutan terhadap arus starting motor tersebut. Rangkaian pengasutan pada motor induksi biasa menggunakan rangkaian pengasutan *Direct On Line* (DOL) yang merupakan rangkain pengasutan sederhana untuk menggerakkan motor listrik secara konvensional. Metode rangkaian DOL ini paling mudah diterapkan, dan juga memiliki keuntungan mengemat energi dengan faktor daya tinggi kemudian mengurangi dalam konsumsi kabel dan trafo [10].

Posisi penelitian ini dari penelitian yang sudah dilakukan yaitu pertama dari penelitian Rofandi dkk [11] menyatakan bahwa dalam penelitiannya dilakukan penambahan kapasitor bank untuk mengatasi kerugian energy listrik/ rugi listrik. Penelitian lain yaitu membahas bahwa kapasitor bank memiliki kemampuan untuk memperbaiki daya kemudian perhitungan koefisien perbaikannya [12]. Kemudian penelitian Souza dkk [13] hanya membahas performa motor induksi 3 phase dari tahun ke tahun. Penelitian yang lain hanya membahas sebagian kecil untuk perbaikan faktor daya dalam jaringan listrik tanpa memberikan solusi saran perbaikannya [1][14]. Dari beberapa penelitian diatas perbedaan penelitian yang akan dilakukan adalah membahas secara detail pengaruh penambahan kapasitor bank terhadap perbaikan daya pada rangkaian DOL (*direct OnLine*) berbasis PLC di motor listrik 3 phase. Mengkombinasikan komponen perbaikan dan otomasi berbasis PLC dan rangkaian listrik DOL.

Penelitian yang dilakukan Ulya [15] & Yani [16] hanya pemasangan kapasitor bank untuk perbaikan daya saja. Bahkan Musyahr[14] beban listrik rumah tangga dipasang kapasitor bank dalam perbaikan daya. Pada rangkaian listrik di industri memiliki rangkaian induktif yang dimana arus tertinggal dari tegangan. Maka dibutuhkan analisis pemasangan kapasitor bank dalam perbaikan daya melalui metode DOL, dan bisa dikombinasikan perkembangan teknologi di industri pengasutan motor induksi diubah dengan PLC (*Progammable Logic Controller*) yang merupakan alat otomatis untuk menggerakkan motor induksi 3 phase.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Faktor Daya

Faktor daya adalah ukuran kualitas listrik, yang membandingkan daya aktif dengan daya reaktif.[17]. Faktor daya disimbolkan $\cos \varphi$ dengan persamaan 1 [18].

$$\frac{\cos \varphi}{pf} = \frac{p}{S} \quad (1)$$

Dimana untuk Pf itu faktor daya, P merupakan daya aktif, dan S adalah daya semu. Salah satu perbaikannya melalui pengurangan daya reaktif (Q). Kompensator digunakan mengurangi daya reaktif melalui pemasangan kapasitor bank dengan rating $kVAR$, berikut perhitungannya melalui persamaan 2 [19]:

$$\Delta Q = P \times (\tan \varphi \text{ awal} - \tan \varphi \text{ target}) \quad (2)$$

Dimasukkannya daya reaktif dibatasi oleh faktor daya maksimum 100%, dan tidak mengubah status *lagging* atau *leading* dari sistem, yang mempertahankan fungsi beban terpasang. Ketika faktor daya mendekati 0, sistem memasok lebih banyak daya reaktif daripada daya aktif, menghasilkan daya semu yang tinggi dan sistem yang tidak efisien [1]. Ketika faktor daya suatu sistem bagus pada saat mendekati 1, peningkatan kualitas daya sistem. Untuk mencapai hal ini, kapasitor bank menyuplai daya Q_c yang memberikan daya reaktif sama dengan jumlah yang dibutuhkan dan digunakan. Jika persyaratan ini terpenuhi, bank kapasitor akan meningkatkan faktor daya ke nilai maksimumnya (faktor daya =1) [12].

B. Kapasitor Bank

Kapasitor secara teori merupakan komponen pasif yang berfungsi sebagai penyimpan muatan dalam dua keping plat konduktor yang dipasang sejajar dan ditengahnya terdapat suatu bahan dielektrik [20]. Kapasitor bank sendiri merupakan jenis kapasitor yang digunakan dalam dunia industri untuk menghindari daya reaktif agar tidak terkena denda oleh lembaga pelayanan listrik. Kapasitor bank yang digunakan juga oleh jasa pelayanan listrik untuk mengurangi rugi-rugi listrik pada jaringan distribusi dan transmisi. Pada sistem jaringan listrik juga menggunakan kapasitor bank sebagai tambahan daya ketika terjadi beban lebih (*overload*) maupun turun tegangan (*voltagedrop*)[11].

C. Motor Induksi 3 Phase

Motor induksi memang sudah dipakai didunia industri mengikuti perubahan teknologi[21]. Keunggulan yang ditonjolkan, murah, dapat dibeli dengan mudah, penggunaan yang simple sehingga langsung duhubungkan pada sumber daya AC (*Alternating Current*). Prinsip menurut Souza dkk & Tsani dkk [13], [22] pertama ketika tegangan 3 phasa dihubungkan pada kumparan stator, timbulah energi kinetik yang mengakibatkan muncul kecepatan. Kedua perputaran stator yang menimbulkan medan induksi di batang konduktor pada rotor, muncul ggl induksi sesuai hukum Faraday. Ketiga munculnya ggl induksi (E) maka terjadi arus (I). Keempat arus didalam medan magnet menimbulkan gaya motor. Kelima gaya (F) pada rotor cukup kuat untuk menangani pasangan beban, rotor akan mulai berputar searah dengan medan putar stator.

Motor listrik akibat dari ggl induksi akibat dari perubahan fluks listrik yang berubah tiap detiknya menjadi kecepatan atau energi mekanis[13], [23]. Kenyataannya efisiensi motor listrik memiliki Inefisiensi sistem konversi elektro-mekanis, khususnya motor listrik induksi, disebabkan oleh kehilangan energi yang mencegahnya mencapai efisiensi 100%. Dalam pengoperasian motor listrik, daya total yang diterima sama dengan jumlah daya yang disalurkan dan rugi daya yang terjadi. [21]. Nilai efisiensi sebuah motor listrik biasanya tidak secara jelas tertera pada plakat namanya. Namun, dapat dihitung menggunakan data arus dan tegangan, serta nilai $\cos \varphi$ an daya motor listrik yang tertera pada plakat namanya. Persamaan 3 dapat digunakan untuk menghitung daya masukan dari motor listrik induksi [24]:

$$P1 = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (3)$$

Dalam persamaan tersebut, $P1$ merupakan daya masukan (Watt), V adalah tegangan kerja dari sistem, I adalah arus yang disuplai, dan $\cos \varphi$ faktor daya. Daya masukan dari motor listrik adalah $P1$, sehingga

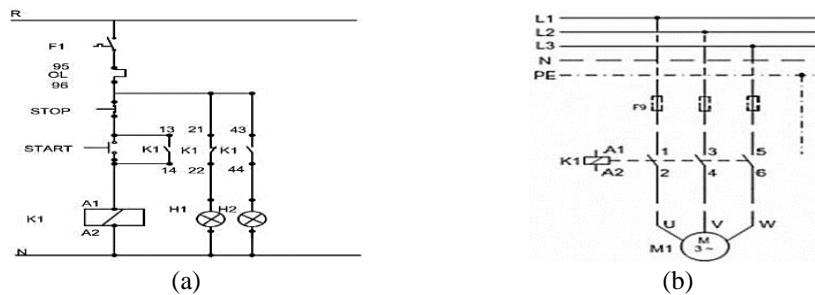
daya yang dikonversi menjadi daya keluaran adalah P2. Dengan demikian, kerugian daya pada motor listrik persamaan 4. dan untuk nilai η Efisiensi motor listrik (%) motor listrik didapatkan persamaan 5 berikut:

$$\text{Rugi} - \text{Rugi daya motor listrik} = P1 - P2 \tag{4}$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P2}{P1} \times 100\% \tag{5}$$

D. Pengasutan Motor Dengan Metode *Direct On Line* (DOL)

Untuk motor yang dioperasikan dengan pengasutan langsung DOL (Direct On Line), suplai listrik langsung dihubungkan ke motor melalui rangkaian [25]. Namun, karena arus pengasutan bisa mencapai 7-8 kali arus normal, pengasutan langsung ini hanya cocok untuk motor kecil dengan daya kurang dari 5 kW. Pada Gambar 1 (a) dan (b) rangkaian pengasutan DOL mengindikasikan bahwa saat tombol start ditekan, arus akan mengalir melalui rangkaian kendali dan kumparan kontaktor dari fasa ke netral. Kumparan kontaktor akan menutup untuk menghubungkan suplai 3 fase ke motor. Jika tombol start dilepaskan, rangkaian kendali akan tetap aktif. Hal ini dikarenakan pada sebuah kontaktor terdapat kontak bantu untuk mengunci arus yaitu kontak bantu 13 &14.



Gambar 1 (a) Rangkaian Kontrol DOL dan (b) Rangkaian Daya

E. Programmable Logic Controller (PLC)

PLC adalah alat kontrol menggunakan mikroprosesor yang mudah digunakan dengan berbagai fungsi kontrol yang kompleks[26]. Penggunaan PLC dipilih karena pengontrol khusus yang dirancang untuk otomatisasi dan kontrol industri. Jadi untuk proses *on off* pada motor listrik 3 phasa menggunakan PLC, dengan diagram ladder yang sederhana. Kemudian PLC mampu diprogram, dikendalikan, dan dioperasikan oleh individu dengan keterampilan komputer dasar. Proses membuat tahapan berupa garis dan alat yang dilakukan operator dalam diagram *Ladder*. Hasil diagram dimasukkan ke komputer dan menggantikan kebutuhan kabel eksternal dalam mengendalikan proses rangkaian. Ketika PLC beroperasi memanfaatkan sistem saklar HIDUP (*ON*) dan MATI (*OFF*) dan variasi keluaran yang lain, dapat dilihat gambar 2.

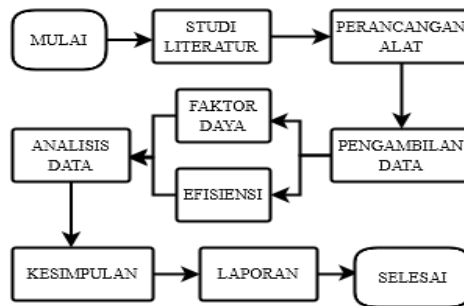


Gambar 2. PLC Omron CP1E

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan jenis kuantitatif dengan melakukan eksperimen rangkaian DOL dengan menambahkan kapasitor bank untuk motor listrik tiga fase berbasis PLC. Penelitian melalui tahapan sesuai dengan gambar 3 diatas alur penelitian dijelaskan mulai dari studi literatur digunakan untuk mencari

informasi, data, dan pernyataan melalui penelusuran dokumen dari jurnal, artikel, prosiding maupun buku [27], [28]. Dari hasil penelusuran literature maupun dokumen melalui jurnal jurnal, artikel, prosiding maupun buku dibutuhkan kapasitor bank untuk faktor daya. Kebutuhan kapasitor bank sangat penting dalam pemenuhan faktor daya [8], [16], [29]. Kemudian dikombinasikan dengan perkembangan teknologi berupa otomatisasi melalui PLC. Dilanjutkan dengan perancangan alat dimana menentukan skema rangkaian, alat dan bahan yang akan digunakan, pembuatan rangkaian dan uji coba. Tahapan pengambilan data dilakukan pengambilan dua data utama yaitu faktor daya dan efisiensi dilanjutkan analisis data. Selanjutnya penarikan kesimpulan dan pembuatan laporan maupun luaran penelitian sesuai dengan skema hibah internal universitas peradaban.

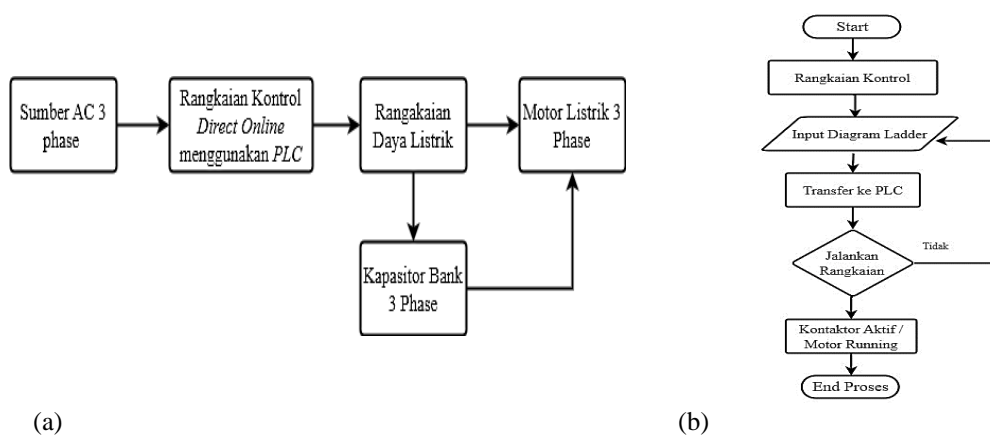


Gambar 3. Alur Penelitian

A. Perancangan Alat

1. Blok Diagram

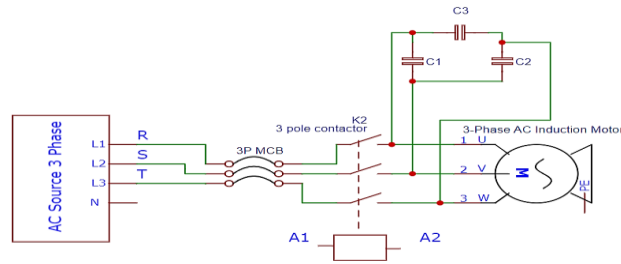
Untuk blok diagram untuk pelaksanaan penelitian sesuai dengan gambar 4 (a) dalam instalasi rangkaian kontrol *Direct On Line* hanya membutuhkan sumber fasa 220 V untuk menjalankan PLC dan kontaktor di A1 dan A2. Rangkaian *Direct On Line* ini bisa menggunakan cara konvensional maupun dengan PLC. Untuk proses pemrograman sesuai gambar 4 (b) PLC untuk pengontrolan tidak menggunakan kontak bantu Kontaktor, melainkan menggunakan pengunci di sistem PLC itu sendiri. Sedangkan untuk rangkaian daya ini membutuhkan sumber AC 3 Phase untuk menggerakkan motor listrik 3 phase. Rangkaian daya ini merupakan hal yang penting dalam pengoperasian motor induksi 3 phase. Sedangkan untuk kapasitor bank dipasang setelah kontaktor utama yang menuju sumber motor listrik 3 phase.



Gambar 4. (a) Blok Diagram & (b) Flowchart Pemrograman pada PLC

2. Skema Rangkaian

Skema rangkaian untuk penambahan kapasitor bank terhadap perbaikan daya pada rangkaian DOL (*direct OnLine*) berbasis PLC di motor listrik 3 phase sesuai gambar 5.



Gambar 5. Skematik Rangkaian

3. Penentuan Nilai Kapasitor Bank

Dari gambar diatas merupakan data nameplaat pada motor induksi 3 fase. Dari gambar diatas dicari daya semu dan daya reaktif nya

$$S = V \times I \times \sqrt{3} = 380 \times 1,17 \times 1,73 = 770,1 \text{ VA}$$

Ditemukan nilai daya semu bernilai 770,1 VA, Selanjutnya mencari nilai daya reaktif:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{373}{770,1} = 0,48 \text{ maka, } \varphi = \cos^{-1} 0,48 = 61,31^\circ$$

$$Q = S \times \sin \varphi = 770,1 \times \sin 61,31^\circ = 770,1 \times 0,88 = 677,69 \text{ VAR}$$

Dibutuhkan $\cos \varphi = 0,98$ maka, $\varphi = \cos^{-1} 0,98 = 11,48^\circ$, kemudian mencari arus dari persamaan daya.

$$I = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos \varphi} = \frac{373}{380 \times 1,73 \times 0,98} = 0,58 \text{ A}$$

$$Q_k = S \times \tan 11,48^\circ = 770,1 \times \tan 11,48^\circ = 154,02 \text{ VAR}$$

$$Q_{CAP} = Q - Q_k = 677,69 - 154,02 = 523,67 \text{ VAR}$$

Menentukan Nilai Kapasitor

$$Q_{CAP} = \frac{523,67}{3} = 174,56 \text{ VAR}$$

Sehingga penentuan nilai kapasitansi kapasitor bank sebagai berikut

$$C = \frac{Q_{CAP}}{-2 \times \pi \times F \times V^2} = \frac{174,56}{-2 \times 3,14 \times 50 \times 380^2} = \frac{174,56}{45.341.600} \times 1.000.00 = 3,85 \mu F$$

Jadi kapasitor yang dbutuhkan yaitu sebesar 3, 85 μF dan dibulatkan menjadi 4 μF

B. Teknik Pengumpulan Data dan Variabel Penelitian

Proses pengumpulan data yaitu data primer dari ekperimen rangkaian DOL dengan menambahkan kapasitor bank untuk motor listrik tiga fase berbasis PLC. Data kuantitatif yang diambil adalah data faktor daya dan data perhitungan efisiensi melalui pengukuran berulang. Variabel terikat (Y) sesuai dengan pengumpulan data yaitu faktor daya dari daya reaktif yang terjadi pada rangkaian. Variabel bebas (X) yang diambil dalam menganalisis regresi yaitu penambahan kapasitor bank. Pengambilan data disesuaikan antara penggunaan kapasitor bank dengan yang tidak untuk melihat kondisi faktor dayanya.

C. Teknik Analisis Data

1. Analisis Ralat Data Penelitian

Analisis ralat untuk meminimalisir data yang diambil memiliki ketelitian/ kecermatan dibawah 90%. Biasanya data dilakukan dengan cara diambil secara berulang dan sesuai dengan interval waktu yang sudah ditentukan. Data yang terbaik bisa diambil dari rerata hasil ukur \bar{x} dengan persamaan 6.

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^n x}{n} \quad (6)$$

Deviasi standar didefinisikan sebagai akar rerata kuadrat deviasinya (Δx) sesuai rumus 7 dan Deviasi standar relatifnya ditulis rumus 8:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\delta x_1)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (7)$$

$$\overline{\Delta x_r} = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \text{ atau } \overline{\Delta x_r} = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% \quad (8)$$

Selanjutnya nilai pengukuran (x) dapat ditulis rumus 9:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad (9)$$

Nilai pengukuran seringkali dinyatakan dengan keseksamaan atau ketelitian, atau kecermatan, sebesar $1 - \overline{\Delta x_r}$ atau $100\% - \overline{\Delta x_r}\%$.

2. Analisis Pengaruh

Analisis dilakukan melalui uji prasyarat terlebih dahulu yaitu dengan Uji normalitas untuk melihat data faktor daya apakah bernilai normal atau tidak melalui uji *shapiro wilk* dengan data kurang dari 50 data. Uji menggunakan SPSS 25 dengan hipotesis apabila nilai signifikansi (Sig.) > 0,05 dari derajat kebebasannya disimpulkan data normal (simetris) begitupun sebaliknya. Kemudian Uji homogenitas untuk melihat data faktor daya memiliki varian yang sama /tidak melalui uji *Levene statistic*. Melalui aplikasi SPSS 25 jika hasil nilai signifikansi (Sig.) > 0,05 dari derajat kebebasannya artinya data homogen begitupun sebaliknya.

Analisis regresi dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan kapasitor bank terhadap perbaikan daya pada rangkaian DOL (*direct OnLine*) berbasis PLC di motor listrik 3 fasa. Dimana variabel bebasnya (X) adalah penambahan kapasitor bank dan varibel terikatnya (Y) adalah faktor daya maka paradigma penelitiannya. Analisis Regresi Linier sederhana menggunakan aplikasi SPSS 25 dengan pengambilan keputusan sebagai berikut :

- Jika sig. dari tabel anova < 0,05 artinya ada pengaruh penambahan kapasitor bank terhadap perbaikan daya pada rangkaian DOL (*direct OnLine*) berbasis PLC di motor listrik 3 fasa.
- Jika sig. dari tabel anova > 0,05 artinya tidak ada pengaruh penambahan kapasitor bank terhadap perbaikan daya pada rangkaian DOL (*direct OnLine*) berbasis PLC di motor listrik 3 fasa.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan dilaboratorium Teknik Elektro Universitas Peradaban mengacu skema rangkaian kemudian diaplikasikan sesuai dengan gambar 6 berikut.



Gambar 6. (a) Rangkaian tanpa kapasitor bank (b) Rangkaian menggunakan kapasitor bank

Sesuai gambar 6 (a) dan (b) dilakukan perangkaian motor induksi 3 phase, dilakukan pengukuran berulang pada fasa R, S dan T untuk mengetahui daya semu. Arus pada tiap fasa diukur dengan menggunakan instrument tang amper seperti pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Hasil Pengukuran

Sesuai dengan tujuan penelitian untuk memperbaiki faktor daya ketika motor induksi berjalan data yang diamati dan diambil hanya arus yang ketika motor berjalan saja (*running current*) tidak mengamati arus awal (*starting current*). Proses pengambilan data arus pada tiap fasa spesifikasi tegangan sumber 380 V dan daya aktif yang tertera 373 Watt. Kemudian data *name plate* motor induksi 3 phase yaitu Daya Motor = 0,37 KW = 373 Watt, Arus = 1,02 A, Cos Phi = 0,48, & Tegangan = 380 V maka sesuai persamaan 2 perhitungan daya reaktif sebagai berikut.

$$\Delta Q = P \times (\tan \varphi \text{ awal} - \tan \varphi \text{ target})$$

$$\Delta Q = 373 \times \tan(61.31^\circ - 11.48^\circ) = 373 \times \tan 49.83^\circ = 441.85 \text{ VAR}$$

Hasil pengukuran gambar 7 dilakukan pencatatan dan perhitungan ralat baik sebelum dipasang kapasitor bank tabel 1 dan sesudah digunakan kapsitor bank tabel 2 berikut.

Tabel 1. Hasil Penelitian sebelum Menggunakan Kapasitor Bank

Data	Nilai Arus						Daya Semu (VA)	$(x_i - \bar{x})^2$	Cos Phi	$(x_i - \bar{x})^2$	Efisiensi %
	R (A)	$(R_i - \bar{x})^2$	S (A)	$(S_i - \bar{x})^2$	T (A)	$(T_i - \bar{x})^2$					
1	0,76	0,0000160	0,82	0,000149	0,78	0,0000040	538,89	64,385	0,692	0,0000861	69,22
2	0,76	0,0000160	0,85	0,000296	0,79	0,0000640	558,23	128,052	0,668	0,0002161	66,82
3	0,76	0,0000160	0,83	0,000004	0,79	0,0000640	548,19	1,628	0,680	0,0000061	68,04
4	0,76	0,0000160	0,82	0,000160	0,79	0,0000640	538,59	69,289	0,693	0,0000934	69,25
5	0,76	0,0000160	0,85	0,000326	0,78	0,0000040	558,79	141,039	0,668	0,0002362	66,75
6	0,75	0,0000360	0,87	0,001482	0,78	0,0000040	572,22	640,394	0,652	0,0009633	65,18
7	0,75	0,0000360	0,84	0,000068	0,78	0,0000040	552,32	29,225	0,675	0,0000570	67,53
8	0,75	0,0000360	0,89	0,002884	0,78	0,0000040	582,22	1246,514	0,641	0,0017836	64,07
9	0,76	0,0000160	0,85	0,000326	0,79	0,0000640	558,79	141,039	0,668	0,0002362	66,75
10	0,75	0,0000360	0,84	0,000065	0,78	0,0000040	552,22	28,154	0,675	0,0000552	67,55
11	0,76	0,0000160	0,85	0,000326	0,78	0,0000040	558,79	141,039	0,668	0,0002362	66,75
12	0,76	0,0000160	0,81	0,000602	0,78	0,0000040	530,79	259,983	0,703	0,0003937	70,27
13	0,75	0,0000360	0,79	0,001411	0,78	0,0000040	522,22	609,794	0,714	0,0009844	71,43
14	0,75	0,0000360	0,84	0,000065	0,78	0,0000040	552,22	28,154	0,675	0,0000552	67,55
15	0,75	0,0000360	0,81	0,000500	0,78	0,0000040	532,22	215,914	0,701	0,0003224	70,08
16	0,75	0,0000360	0,84	0,000065	0,78	0,0000040	552,22	28,154	0,675	0,0000552	67,55
17	0,76	0,0000160	0,78	0,003019	0,78	0,0000040	510,79	1304,943	0,730	0,0022428	73,02
18	0,76	0,0000160	0,76	0,004880	0,78	0,0000040	500,99	2109,014	0,745	0,0037998	74,45
19	0,76	0,0000160	0,85	0,000326	0,78	0,0000040	558,79	141,039	0,668	0,0002362	66,75
20	0,76	0,0000160	0,85	0,000326	0,78	0,0000040	558,79	141,039	0,668	0,0002362	66,75
\bar{x}	0,76	0,0004800	0,83	0,0172819	0,78	0,0000040	546,91	7468,791	0,683	0,0122952	68,29
Δx	0,0050262		0,0301591		0,0041039		19,827		0,0050262		
% $\Delta \bar{x}_r$	0,6648475		3,6251779		0,5247971		3,625		0,7360327		
Ketelitian	99,3351525		96,3748221		99,4752029		96,375		99,2639673		

Dari hasil pada tabel 1 didapatkan nilai ketelitian dan kecermatan pengukuran untuk arus pada R, S,dan T yaitu 99,335 %, 96,374%, dan 99,475% artinya nilai ketelitian dalam pengambila data dikatakan baik karena diatas 90%. Kemudian pada nilai rata-rata cos phi (ϕ) sebelum menggunakan kapasitor bank 0,683 artinya masih dibawah standar PLN yaitu 0,9 untuk nilai cos phi. Kemudian untuk hasil pengukuran sesudah menggunakan kapasitor bank sesuai dengan tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Penelitian setelah Menggunakan Kapasitor Bank

Data	Nilai Arus						Daya Semu (VA)	$(x_i - \bar{x})$	Cos Phi	$(x_i - \bar{x})^2$	Efisiensi %
	R (A)	$(R_i - \bar{x})^2$	S (A)	$(S_i - \bar{x})^2$	T (A)	$(T_i - \bar{x})^2$					
1	0,23	0,0000010	0,62	0,0000063	0,20	0,0000123	407,59	2,709	0,915	0,0000119	91,51
2	0,23	0,0000010	0,61	0,0000976	0,20	0,0000123	402,74	42,198	0,926	0,0002094	92,62
3	0,23	0,0000010	0,64	0,0003062	0,20	0,0000123	420,74	132,342	0,887	0,0006327	88,65
4	0,23	0,0000010	0,63	0,0000561	0,20	0,0000123	414,16	24,246	0,901	0,0001225	90,06
5	0,23	0,0000010	0,61	0,0002622	0,20	0,0000123	398,59	113,337	0,936	0,0005814	93,58
6	0,23	0,0000010	0,62	0,0000005	0,20	0,0000123	408,79	0,199	0,912	0,0000006	91,24
7	0,23	0,0000010	0,62	0,0000063	0,20	0,0000123	407,59	2,709	0,915	0,0000119	91,51
8	0,23	0,0000010	0,62	0,0000499	0,20	0,0000123	404,59	21,585	0,922	0,0001048	92,19
9	0,23	0,0000010	0,61	0,0000596	0,20	0,0000123	404,16	25,766	0,923	0,0001258	92,29
10	0,23	0,0000010	0,62	0,0000283	0,21	0,0000422	405,74	12,222	0,919	0,0000581	91,93
11	0,23	0,0000010	0,61	0,0000596	0,21	0,0000422	404,16	25,766	0,923	0,0001258	92,29
12	0,23	0,0000010	0,62	0,0000020	0,20	0,0000123	410,16	0,854	0,909	0,0000052	90,94
13	0,23	0,0000010	0,63	0,0000561	0,20	0,0000123	414,16	24,246	0,901	0,0001225	90,06
14	0,23	0,0000010	0,61	0,0001974	0,21	0,0000422	400,00	85,304	0,933	0,0004332	93,25
15	0,23	0,0000010	0,63	0,0000561	0,20	0,0000123	414,16	24,246	0,901	0,0001225	90,06
16	0,23	0,0000010	0,61	0,0000596	0,20	0,0000123	404,16	25,766	0,923	0,0001258	92,29
17	0,23	0,0000010	0,64	0,0003062	0,21	0,0000422	420,74	132,342	0,887	0,0006327	88,65
18	0,23	0,0000010	0,64	0,0003062	0,21	0,0000422	420,74	132,342	0,887	0,0006327	88,65
19	0,22	0,0000810	0,62	0,0000063	0,21	0,0000422	407,59	2,709	0,915	0,0000119	91,51
20	0,22	0,0000810	0,63	0,0000561	0,21	0,0000422	414,16	24,246	0,901	0,0001225	90,06
\bar{x}	0,23	0,0001800	0,62	0,0019787	0,20	0,0004550	409,24	855,133	0,912	0,0041937	91,17
Δx	0,0030779		0,0102049		0,0048936		6,709		0,0050262		
% $\Delta \bar{x}_r$	1,3440764		1,6393298		2,4047198		1,639		0,5513135		
Ketelitian	98,6559236		98,3606702		97,5952802		98,361		99,4486865		

Berdasarkan tabel 2 menunjukkan hasil pengambilan data motor listrik 3 fasa setelah menggunakan kapasitor bank berbasis PLC, hasil analisis ketelitian unntuk nilai arus listrik pada fasa R, S, & T yaitu 98,655 %, 98,360%, dan 97,595 %. Dari nilai ketelitian pada tiap fase arus listrik R,S,&T diatas 90% yang artinya data pengukuran sudah sesuai standar dan memenuhi untuk kriteria analisis data. Kemudian setelah penambahan kapasitor bank nilai rata-rata cos phi menjadi 0,912 sesuai dengan standar kriteria cos phi dari PLN yaitu 0,9. Kemudian menganalisis pengaruh dari penggunaan kapasitor bank pada motor listrik 3 fasa berbasis PLC melalui prasyarat berikut.

Tabel 3. Uji Normalitas

Variabel	Statistik	df	Signifikansi
Y	0,929	20	0,61
X	0,930	20	0,222

Pada tabel 3 uji *Shapiro-wilk* hasil analisis signifikansinya diatas 0,05 dari nilai derajat kebebasanya setiap variabelnya. Hal ini menunjukkan bahwa nilai variabel $Y = 0,61$ dan $X = 0,222$ memiliki data normal.

Tabel 4. Uji Homogenitas

	Levene Statistic	Signifikansi
Based on trimmed Mean	2,815	0,100

Berdasarkan hasil tabel 4 menunjukkan nilai signifikansi diatas 0,05 yang menunjukan nilai signifikansi 0,100 dari uji *Levene Statistic* kedua variabel memiliki data yang homogen atau sama. Disimpulkan uji normalitas dan homogenitas memenuhi dilakukan uji statistik parameteris menggunakan regresi linier.

Tabel 5. Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,685 ^a	0,469	0,440	0,01901

Hasil analisis data pertama dari regresi linier yaitu tabel 5 mengenai persentase pengaruh dari variabel bebas dan terikatnya dilihat dari nilai *R Square*. Berdasarkan tabel 5 menunjukkan nilai *R Square* sebesar 0,469 jika dipersentasekan menjadi 46,9% , yang artinya variabel kapasitor bank mempengaruhi perbaikan faktor daya pada rangkaian DOL pada mesin listrik 3 fase berbasis PLC sebesar 46,9%. Kemudian untuk 53,1% dari kelebihanya dipengaruhi oleh variabel lain dalam penentuan faktor daya.

Tabel 6 Anova^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	0,006	1	0,006	15,919	0,001 ^b
	Residual	0,007	18	0,000		
	Total	0,012	19			

Berdasarkan tabel 6 menunjukan nilai signifikansi 0,001 jika dikonsultasikan dengan derajat kebebasanya 0,05 disimpulkan $0,001 < 0,05$, artinya kapasitor bank berpengaruh pada perbaikan faktor daya pada rangkaian DOL pada mesin listrik 3 fase berbasis PLC.

Tabel 7. Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,761	0,270		6,518	0,000
	X	-1,182	0,290	-0,685	-3,990	0,001

Tabel 7 digunakan memperoleh persamaan regresi linier sederhana dari nilai *B* pada *model constant* dan variabel X sebagai berikut :

$$Y = a + bX = 1,761 + (-1,182)X \quad (10)$$

Persamaan 10 persamaan regresi linier bahwa penggunaan kapasitor bank sebagai variabel bebas mempengaruhi perbaikan faktor daya. Arah negatif menunjukan pengurangan daya semu sebagai akibat penggunaan kapasitor bank. Dapat dilihat dalam tabel 1 dan 2 rata-rata daya semu sebelum bernilai 546,91 VA dan sesudah menggunakan kapasitor bank 409,24 VA nilainya mengalami penurunan. Tabel 7 juga menunjukkan signifikansi uji t pada kolom X nilainya 0,001 yang artinya dibawah 0,05 artinya ada pengaruh perbaikan faktor daya dari penambahan kapasitor bank. Nilai $\cos \phi < 1$ yang menunjukkan besar daya aktif lebih kecil dengan daya semu, jika $\cos \phi$ mendekati angka 1 dapat dikatakan penggunaan listrik lebih efisien. Bisa dilihat dalam tabel 1 untuk nilai rata-rata efisiensi sebelum penggunaan kapasitor bank 68,29% dan sesudah penggunaan kapasitor bank efisiensinya menjadi 91,17% artinya mengalami peningkatan.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian penggunaan kapasitor bank berpengaruh pada perbaikan faktor daya yang ditunjukkan dari signifikasni $0,001 < 0,05$ pada rangkaian DOL di motor listrik 3 fasa berbasis PLC. Diperkuat dengan nilai rata-rata $\cos \phi$ sesudah penggunaan kapasitor bank memiliki nilai 0,912 yang artinya sudah sesuai standar PLN yaitu nilai 0,9. $\cos \phi$ merupakan nilai efektif pada suatu beban listrik, jika $\cos \phi$ menurun maka mengakibatkan beban kerja dan terjadinya konleting atau kerusakan yang terjadi pada sistem beban listrik. Nilai $\cos \phi < 1$ yang menunjukkan besar daya aktif lebih kecil dengan daya semu, jika $\cos \phi$ mendekati angka 1 dapat dikatakan penggunaan listrik lebih efisien. Dapat dilihat dari nilai rata-rata efisiensi sebelum dan sesudah yaitu 68,29% menjadi 91,17% artinya mengalami peningkatan.

ACKNOWLEDGMENT

Terima kasih ditujukan kepada Rektor dan Lembaga Penelitian & Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Peradaban yang sudah mensupport atau mendukung dalam pembuatan penelitian ini melalui Dana Hibah Penelitian Internal Skema Dosen Pemula Universitas Peradaban. Semoga bisa memberikan tambahan khasanah ilmu berkaitan dalam bidang Teknik Elektro dan bagi Universitas Peradaban.

REFERENCES

- [1] Y. Eseye and S. Lesmana, "Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan," *Sains & Teknologi*, vol. 11, no. 1, 2021.
- [2] F. Sari and A. Darwanto, "Analisis Sistem Eksitasi Pada Generator Pararel Terhadap Daya Reaktif," *J Teknol*, vol. 14, no. 1, 2021, doi: 10.34151/jurtek.v14i1.3276.
- [3] R. Andreansyah, "Perencanaan Dan Pembuatan Rangkaian Daya Starting Motor 3 Fasa ,380 Volt ,50 Hz, 3 Hp Dengan Metoda Bintang (Y) – Segitiga (Δ)," *CYCLOTRON*, vol. 2, no. 1, 2019, doi: 10.30651/cl.v2i1.2510.
- [4] S. Riyanto and A. Sapriadi, "Analisis Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa 15 HP Menggunakan Metode Dol (Direct On Line) Pada PDAM Juwata Laut Tarakan," *Elektrika Borneo*, vol. 4, no. 2, 2018, doi: 10.35334/jeb.v4i2.1291.
- [5] Electrical4U, "3 Phase Induction Motor Definition And Working Principle," <https://www.electrical4u.com/>, 2020.
- [6] Q. Sun, W. Zhang, and Q. Wang, "Fundamental design and analysis of a novel bipolar transverse-flux motor with stator permanent-magnet excitation," *Chinese Journal of Electrical Engineering*, vol. 4, no. 1, 2018, doi: 10.23919/CJEE.2018.8327372.
- [7] I. S. Widharma, I. Sajayasa, I. Sunaya, and I. Budiada, "Analisis Konsumsi Energi Listrik Dua Motor Induksi Tiga Fasa Antara Terhubung Langsung Dengan Terhubung Tukar Fasa," *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, vol. 4, no. 1, 2021, doi: 10.47532/jiv.v4i1.247.
- [8] A. Rofii and R. Ferdinand, "Analisa Penggunaan Kapasitor Bank Dalam Upaya Perbaikan Faktor Daya," *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol. 3, no. 1, 2018.
- [9] D. A. Basudewa, "Analisa Penggunaan Kapasitor Bank terhadap Faktor Daya Pada Gedung IDB Laboratory UNESA," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 09, no. 03, 2020.
- [10] V. Kazakbaev, V. Prakht, V. Dmitrievskii, and D. Golovanov, "Feasibility study of pump units with various direct-on-line electric motors considering cable and transformer losses," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 22, 2020, doi: 10.3390/app10228120.
- [11] M. Y. Rofandy, A. Hasibuan, and R. Rosdiana, "Analysis of The Effect of Bank Capacitor Placement as Voltage Drop Increase in Distribution Network," *Andalasian International Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, vol. 2, no. 1, 2022, doi: 10.25077/aijaset.v2i1.32.
- [12] A. Dani and M. Hasanuddin, "Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Sebagai Kompensator Daya Reaktif (Studi Kasus STT Sinar Husni)," *STMIK Royal – AMIK Royal*, vol. 1, no. 1, 2018.
- [13] D. F. de Souza, F. A. M. Salotti, I. L. Sauer, H. Tatizawa, A. T. de Almeida, and A. G. Kanashiro, "A Performance Evaluation of Three-Phase Induction Electric Motors between 1945 and 2020," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 6, 2022, doi: 10.3390/en15062002.
- [14] G. Musyhar, "Kualitas Listrik Dan Perbaikan Faktor Daya Pada Beban Listrik Rumah Tangga Menggunakan Kapasitor," *Jurnal Cahaya Bagaskara*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2017.
- [15] A. U. Ulya, "analisis dan simulasi pengaruh pemasangan capasitor bank untuk perbaikan faktor daya menggunakan simulink pada sistem tenaga listrik di pt. Bogowonto primalaras," *MEDIA ELEKTRIKA*, vol. 12, no. 1, 2019, doi: 10.26714/me.12.1.2019.1-11.
- [16] A. Yani, "Pemasangan Kapasitor Bank untuk Perbaikan Faktor Daya," *Journal of Electrical Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 31–35, 2017.

- [17] M. Ali, F. Rashid, and S. Rasheed, "Power factor improvement for a three-phase system using reactive power compensation," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 24, no. 2, pp. 715–727, Nov. 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v24.i2.pp715-727.
- [18] I. Roza, "Analisis Penurunan Cos phi dengan menentukan Kapasitas Kapasitor Bank Pada Pembangkit Tenaga Listrik Pabrik Kelapa Sawit (PKS)," *JOURNAL OF ELECTRICAL AND SYSTEM CONTROL ENGINEERING*, vol. 2, no. 1, 2018, doi: 10.31289/jesce.v2i1.1917.
- [19] D. I. Panfilov, A. E. El Gebaly, M. G. Astashev, and A. N. Rozhkov, "Performance analysis of thyristors switched capacitors used for reactive power compensation of induction motor," *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, vol. 4, no. 4, 2019, doi: 10.25046/aj040408.
- [20] S. M. Siagian, G. W. Jaya, and I. Nurhidayati, "Analisis Jumlah Muatan Listrik Serta Energi Pada Kapasitor Berdasarkan Konstanta Dielektrik Suatu Material," *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, vol. 7, no. 1, 2021, doi: 10.31764/orbita.v7i1.4420.
- [21] M. Adinegoro and M. Adhitya, "Mechanical design of 3 phase induction electric motor," in *AIP Conference Proceedings*, 2020. doi: 10.1063/5.0003755.
- [22] U. Tsani, A. Saepudin, and P. Sukamto, "A Design for Three Phase Electronic Controller for Electric Motor Cycle Equivalent to 100-125 Cc Engine Power with Regenerative Braking System," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1764/1/012184.
- [23] N. Cholis and R. N. Prasetyono, "Analysis Of The Effect Of Magnetic Location And Addition Of Barrier Flux On Back Emf Value On Pmsg 12s8p Using FEM Method," *Journal of Electronic and Electrical Power Application (JEEPA)*, vol. 2, no. 1, pp. 65–71, 2022, doi: <https://doi.org/10.58436/jeepe.v2i1.1040>.
- [24] B. Baharudin, S. Jie, and M. Mustamin, "Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Karakteristik (Unjuk Kerja) Motor Induksi Tiga Fasa," *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan Kendali*, vol. 2, no. 3, 2017, doi: 10.33772/jfe.v2i3.7901.
- [25] P. R. Viego, V. Sousa, J. R. Gómez, and E. C. Quispe, "Direct-on-line-start permanent-magnet-assisted synchronous reluctance motors with ferrite magnets for driving constant loads," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 10, no. 1, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i1.pp651-659.
- [26] R. A. Rangkuti, A. Atmam, and E. Zondra, "Studi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC)," *JURNAL TEKNIK*, vol. 14, no. 1, 2020, doi: 10.31849/teknik.v14i1.2295.
- [27] S. Awwaabiin, "Studi Literatur: Pengertian, Ciri-Ciri, dan Teknik Pengumpulan Datanya," <https://Penerbitdepublish.Com/Studi-Literatur>. 2021.
- [28] I. Liasari, "Studi Literatur : Pencegahan Penyebaran Sars-Cov-2 Pada Praktik Kedokteran Gigi," *Media Kesehatan Gigi: Politeknik Kesehatan Makassar*, vol. 19, 2020, doi: 10.32382/mkg.v19i1.1598.
- [29] Y. Esye and S. Lesmana, "Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan," *Sains & Teknologi*, vol. 11, no. 1, 2021.