

Sistem Perbaikan Faktor Daya Otomatis Berbasis *Microcontroller* Pada Beban Listrik Kapal

Hafid Arrafi¹, Sri Mulyanto², Novrico Susanto³, Edi Kurniawan⁴
¹⁻⁴ Politeknik Pelayaran Surabaya

Korespondensi Penulis : hafidarrafie17@gmail.com

ABSTRACT. Inductive loads on ships are loads that cause the power factor value to move away from 1.00, especially if the addition of this type of load exceeds the standard and the load is installed unbalanced, it can worsen the power factor value. A low power factor value results in soaring current values and reactive power, which often results in cable insulation burning and reduced efficiency. The aim of this research is to create a tool that can automatically correct low power factor values using a Capacitor Bank, PZEM-004T sensor and ESP32 controller at certain inductive loads and can monitor and record electrical load parameter data from various areas on the ship online and offline. This research uses a trial and error method. Based on the test results, this tool can automatically improve the power factor value of inductive loads in the form of TL lamps and electro motors to above 0.90 and the working current value of TL lamps can be reduced from 0.30-0.31 A to 0.17-0.18 A. Electro motors experience a decrease in current from 0.74-0.76 A to 0.66-0.68 A. This tool is also equipped with a system for monitoring and recording load parameter data using Google Spreadsheet when an internet connection is available. If an internet connection is not available, the recording will be transferred using Micro-SD.

Keywords: Power factor, PZEM-004T, ESP32, Inductive load, Data logger

ABSTRAK. Beban induktif di kapal merupakan beban yang mengakibatkan nilai faktor daya menjauhi 1.00, terlebih apabila penambahan jenis beban ini dilakukan melebihi standart dan pembebanannya terpasang tidak seimbang, maka dapat memperburuk nilai faktor daya. Nilai faktor daya yang rendah berdampak pada melonjaknya nilai arus serta daya reaktif sehingga kerap mengakibatkan isolasi kabel terbakar dan menurunnya efisiensi. Tujuan penelitian ini adalah membuat alat yang dapat memperbaiki rendahnya nilai faktor daya secara otomatis menggunakan Capacitor Bank, sensor PZEM-004T dan controller ESP32 pada beban induktif tertentu serta dapat memantau dan merekam data parameter beban listrik dari berbagai area di kapal secara online dan offline. Penelitian ini menggunakan metode trial and error. Berdasarkan hasil pengujian, alat ini dapat memperbaiki nilai faktor daya beban induktif berupa lampu TL dan electro motor secara otomatis hingga di atas 0.90 serta nilai arus kerja dari lampu TL dapat diturunkan dari 0.30-0.31 A menjadi 0.17-0.18 A. Electro motor mengalami penurunan arus dari 0.74-0.76 A menjadi 0.66-0.68 A. Alat ini juga dilengkapi dengan sistem pemantauan dan perekaman data parameter beban menggunakan Google Spreadsheet saat tersedianya koneksi internet. Apabila koneksi internet tidak tersedia, maka perekaman akan dialihkan menggunakan Micro-SD.

Kata kunci: Faktor daya, PZEM-004T, ESP32, Beban induktif, Data logger

PENDAHULUAN

Daya listrik adalah energi per satuan waktu (Von Meier Alexander, 2006). Menurut Irfan, dkk.(2021:1), daya listrik dibagi menjadi tiga macam, yaitu daya aktif/nyata yang dinyatakan dalam Watt (W), daya reaktif yang dinyatakan dalam Volt Ampere Reactive (Var), dan daya semu yang dinyatakan dengan Volt Ampere (Va). Daya listrik pada sistem kelistrikan kapal wajib memiliki kualitas dan efisiensi yang baik. Salah satu tolak ukurnya yakni memiliki nilai faktor daya yang tinggi ($\cos\phi$ mendekati 1) dan sebaliknya apabila nilai faktor daya rendah ($\cos\phi$ mendekati 0) artinya daya listrik tersebut tidak memiliki kualitas dan efisiensi yang baik, karena semakin sedikit daya aktif yang dapat digunakan.

Tinggi rendahnya nilai faktor daya dipengaruhi oleh jenis beban yang digunakan. Ada tiga jenis beban listrik yang kita ketahui yakni beban resistif, beban induktif dan beban kapasitif. Pada beban listrik yang terdapat di kapal niaga, terdapat banyak sekali beban listrik yang bersifat induktif. Contoh beberapa beban induktif tersebut antara lain trafo las, solenoid, inverter, dan yang paling banyak yaitu sebuah electro motor dan lampu tube lamp (TL). Electro motor merupakan mesin listrik yang digunakan pada peralatan penting seperti pompa, blower dan compressor dalam melakukan prinsip kerjanya sebagai penggerak. Lampu TL merupakan peralatan yang banyak digunakan di kapal karena memiliki fungsi vital sebagai peralatan yang berguna menerangi berbagai ruangan.

Jenis beban ini mengonsumsi daya reaktif dalam melakukan prinsip kerjanya. Dimana, daya reaktif diperlukan beban induktif untuk membantu proses pembentukan medan magnet. Dengan keadaan tersebut, maka nilai faktor daya menjadi rendah dan fasa arus tertinggal dari fasa tegangan (faktor daya lagging). Kondisi sistem kelistrikan pada kapal MV. Pulau hoki yang menjadi tempat praktik berlayar penulis memiliki nilai faktor daya yang rendah. Sehingga berdampak pada menurunnya nilai daya aktif (W) yang dapat digunakan serta kerap mengakibatkan isolasi kabel terbakar karena adanya lonjakan nilai arus beban. Nilai faktor daya yang rendah di MV. Pulau hoki dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain yaitu, penambahan beban induktif yang melebihi standart dan pembebanan yang tidak seimbang.

Selain kondisi rendahnya nilai faktor daya, di kapal tersebut masih memiliki keterbatasan pada sistem pemantauan dan pencatatan parameter beban listrik yang masih tergolong konvensional. Pada kapal tersebut di dalam melakukan kegiatan pengukuran dan pemantauan data parameter beban listrik sebagian besar hanya dapat dilihat pada satu lokasi (local area) dan kegiatan pencatatan parameter masih dilakukan dengan tulis tangan, sehingga kurang cepat dalam membantu engineer dalam menyusun perencanaan kegiatan perawatan terjadwal sebuah beban listrik. Dengan adanya beberapa kondisi tersebut, maka dari itu

diperlukan adanya sebuah alat yang dapat membantu engineer di atas kapal dalam memperbaiki rendahnya nilai faktor daya secara otomatis pada beban tertentu serta dapat memantau dan merekam data parameter beban listrik dari berbagai area di kapal.

Oleh karenanya, penulis tertarik untuk mengkaji lebih dalam dan membahas dengan melakukan pembuatan prototype “Sistem Perbaikan Faktor Daya Otomatis Berbasis Microcontroller Pada Beban Listrik Kapal“. Pada sistem ini memanfaatkan ESP32 sebagai controller, sensor PZEM-004T untuk membaca parameter beban, Google Spreadsheet sebagai data logger dan tempat memantau parameter beban listrik (meliputi tegangan, arus, daya aktif, daya semu, daya reaktif, cosphi) saat tersedia koneksi internet, Micro-SD sebagai data logger saat koneksi internet tidak tersedia serta capacitor bank yang dihubungkan secara paralel terhadap beban.

TINJAUAN PUSTAKA

Daya Listrik

Daya listrik adalah besarnya energi listrik yang diserap oleh suatu peralatan listrik setiap satuan waktu

Segitiga Daya

Yakni segitiga yang menggambarkan hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) secara matematis berdasarkan prinsip trigonometri (Shiddieqy A & Pratiwi S., 2021).

Faktor Daya

Berdasarkan penelitian C. Sankaran (2002) menyatakan bahwa faktor daya atau yang dikenal dengan istilah cosphi yakni perbandingan antara daya aktif (P) dengan daya semu (S).

Perbaikan Faktor Daya

Prinsip utama dalam melakukan upaya meningkatkan atau memperbaiki nilai faktor daya yakni dengan menyuntikkan arus dengan fase mendahului ke dalam sistem untuk menetralkan arus yang fasanya tertinggal akibat beban induktif (Shiddieqy A & Pratiwi S., 2021). Dengan kata lain, kita perlu membuat penghasil daya reaktif kapasitif eksternal untuk sistem.

Kapasitor Bank

Kapasitor adalah komponen elektronik yang berfungsi menyimpan elektron-elektron atau muatan listrik. Besarnya kapasitansi dari sebuah kapasitor dinyatakan dalam satuan Farad.

Sistem Kontrol

Menurut Bolton pada bukunya tahun 2006 “Sistem kontrol dapat dipandang 12 sistem dimana suatu masukan atau beberapa masukan tertentu digunakan untuk mengontrol keluarannya pada nilai tertentu”.

ESP32

ESP32 adalah sebuah mikrokontroler yang diperkenalkan oleh Espressif system (Sudiarsa & Dirgayusari., 2009). Jenis mikrokontroler ini merupakan pengembangan dari ESP8266. Pada ESP32 ini sudah dapat diandalkan untuk pembuatan sistem aplikasi atau project yang berkaitan dengan Internet Of Things.

Solid State Relay (SSR)

Solid state relay merupakan sebuah peralatan switching electronic yang terbuat dari semikonduktor modern. Solid state relay tersusun atas SCR, TRIAC atau output transistor sebagai pengganti sakelar kontak mekanis.

Sensor Tegangan, Arus, Daya dan Energi (PZEM-004T)

Sensor PZEM-004T merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur nilai tegangan, arus, daya dan energi. Sensor ini dapat di program untuk mengkalkulasi dan menghitung nilai faktor daya guna keperluan perbaikan faktor daya.

Liquid Cristal Display (LCD 20x4)

Liquid Cristal Display (LCD) merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk menampilkan data meliputi symbol, huruf dan karakter. LCD tersedia dalam bentuk modul yang memiliki pin data, Kontrol catu daya dan pengatur kontras tampilan (Amir H., 2017).

I2C Module

Modul I2C merupakan sebuah standart komunikasi serial dua arah yang menggunakan dua saluran dan dapat menerima dan mengirim data. Sistem I2C terdiri dari saluran Serial Clock (SCL) dan Serial Data (SDA) yang membawa informasi data antara I2C dan pengontrolnya.

Google Spreadsheets

Google Spreadsheet adalah sebuah program yang termasuk bagian dari Suite Editor Document Google berbasis open source website yang disediakan oleh Google. Selain itu

layanan ini mencakup Google Docs, Google Slides, Google Sites, Google Forms, Google Keep (Rahmah A. dkk., 2020).

Module Micro-SD

Module Micro-SD merupakan modul yang memiliki fungsi untuk menulis serta membaca data sebuah Micro-SD. Interfacing yang digunakan modul ini menggunakan komunikasi SPI.

SD Card

SD Card merupakan kartu memori jenis non-volatile yang dikembangkan oleh SD Card Association yang digunakan pada peralatan portable (Pratama, 2021).

Miniatur Circuit Breaker (MCB)

MCB merupakan peralatan proteksi listrik yang berfungsi mengamankan, melindungi rangkaian/instalasi listrik dengan pengaman thermis/bimetal sebagai pengaman overload serta dilengkapi relai elektromagnetik untuk pengaman short circuit.

METODE PENELITIAN

Trial and error merupakan metode pemecahan masalah dengan melakukan upaya-upaya guna mendapatkan dan mencapai solusi. Proses trial and error yang dilakukan seseorang adalah mencoba, lalu melakukan kesalahan, lalu menganalisis dan terakhir memutuskan (Anon, 2021). Berdasarkan metode penelitian ini, penulis menggunakan metode trial and error. Oleh karenanya, dalam metode ini harus memiliki faktor yang diuji coba, dalam hal ini faktor yang diuji coba merupakan sensor PZEM-004T dan ESP32 sebagai controller. Dimana, sensor PZEM-004T digunakan untuk membaca nilai cosphi dan beberapa parameter beban seperti tegangan, arus dan daya. Sedangkan ESP32 digunakan untuk memproses nilai masukan dan meregulasi kondisi output melalui regulator (SSR) agar terciptanya kondisi sistem dengan nilai cosphi tidak <0.90 .

Proses trial disini dilakukan dengan mencoba menghidupkan salah satu dari jenis beban berbeda yakni induktif dan resistif pada prototype ini dengan menancapkan steker beban yang akan dijalankan (beban induktif). Lakukan uji coba menjalankan beban selama 30 detik, hingga mencapai 7 kali percobaan atau pengulangan. Jika prototype ini mendeteksi nilai cosphi yang rendah (<0.90), maka sistem akan melakukan perbaikan nilai cosphi agar memiliki nilai cosphi >0.90 . Jika nilai tersebut tidak tercapai atau error, maka dilakukan perhitungan ulang kembali daya reaktif kapasitif yang dibutuhkan (ukuran capacitor bank) serta melakukan pengecekan

terkait rumus perhitungan pada pemrogramannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

1. Analisis Perbandingan Nilai Sensor Dan Alat Ukur *Standart*

Untuk menguji tingkat kepresisian *prototype* ini di dalam membaca dan mengukur nilai faktor daya, tegangan, arus dan daya maka dilakukan perbandingan dengan alat ukur *standart* meliputi *multitester* untuk nilai tegangan, *clamp meter* untuk nilai arus dan rumus persamaan matematis (2.1), (2.3), (2.9) untuk menghitung nilai faktor daya serta jenis daya. Adapun di dalam mencari nilai *error* antara sensor *prototype* dengan alat ukur *standart* dapat menggunakan persamaan (4.1).

$$\text{Persentase Error} = \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Alat Ukur Standart}}{\text{Alat Ukur Standart}} \times 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

a. Beban resistif

Dari Tabel 4.1 diketahui nilai pengukuran dari beban resistif murni berupa lampu pijar menggunakan sensor dan alat ukur. Kemudian untuk nilai persentase *error* data beban ini dapat dilihat pada tabel 4.8.

Table 0.1 Presentase Error Beban Resistif

Percobaan Ke	V (Volt)	I (Ampere)	PF (Cosphi)	Pa (W)	Ps (Va)	Pr (Var)
1.	0.5 %	0.12 %	0 %	0.16 %	0.16 %	0 %
2.	0.4 %	0 %	0 %	0.03 %	0.03 %	0 %
3.	0.4 %	0.12 %	0 %	0.16 %	0.16 %	0 %
4.	0.67 %	0 %	1 %	0.6 %	0.6 %	0 %
5.	0.53 %	0 %	0 %	0.03 %	0.03 %	0 %
6.	0.50 %	0 %	0 %	0.03 %	0.03 %	0 %
7.	0.56 %	0.11 %	0 %	0.05 %	0.05 %	0 %
Rata-Rata Error (%)	0.50%	0.05 %	0.14 %	0.15 %	0.15 %	0%

Sumber : Dokumen Pribadi

b. Beban induktif

Dari Tabel 4.2 dan 4.3 diketahui nilai pengukuran beban lampu TL saat sebelum dan setelah dilakukan perbaikan faktor daya dengan menggunakan sensor *prototype* serta alat ukur *standart*. Adapun nilai persentase *error* dari Tabel 4.2 dan 4.3 dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan 4.10.

Table 0.2 Persentase *Error* Lampu TL Sebelum Perbaikan

Percobaan Ke	V (Volt)	I (Ampere)	PF (Cosphi)	Pa (W)	Ps (Va)	Pr (Var)
1.	0.4 %	3.4 %	0.7 %	0.5 %	0.3 %	0.6 %
2.	0.3 %	3.4 %	0.5 %	0.2 %	0.3 %	0.6 %
3.	0.3 %	3.4 %	0.5 %	0.3 %	0.3 %	0.5 %
4.	0.4 %	3.3 %	0.3 %	0.2 %	0.2 %	0.4 %
5.	0.4 %	3.3 %	0.3 %	0.2 %	0.2 %	0.4 %
6.	0.4 %	3.4 %	0.7 %	0.4 %	0.4 %	0.8 %
7.	0.7 %	3.3 %	0.7 %	0.6 %	0.2 %	0.5 %
Rata-Rata Error (%)	0.41 %	3.35 %	0.52 %	0.34 %	0.27 %	0.54 %

Sumber : Dokumen Pribadi

Table 0.3 Persentase *Error* Lampu TL Setelah Perbaikan

Percobaan Ke	V (Volt)	I (Ampere)	PF (Cosphi)	Pa (W)	Ps (Va)	Pr (Var)
1.	0.3 %	0.62 %	0.2 %	0.6 %	0.4 %	0.6 %
2.	0.3 %	0 %	0.3 %	0.5 %	0.16 %	0.14 %
3.	0.5 %	0.66 %	0.3 %	0.12 %	0.82 %	0.83 %
4.	0.3 %	0 %	0.3 %	0.61 %	0.26 %	0.13 %
5.	0.4 %	0.62 %	0.3 %	0.66 %	0.31 %	0.13 %
6.	0.3 %	0.62 %	0.2 %	0.6 %	0.37 %	0.67 %
7.	0.3 %	0.58 %	0.2 %	0.72 %	0.48 %	0.57 %
Rata-Rata Error (%)	0.34 %	0.44 %	0.25 %	0.54 %	0.40 %	0.43 %

Sumber : Dokumen Pribadi

Untuk data beban induktif berupa *electro motor* 150 Watt pada saat sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan faktor daya yang terdapat pada Tabel 4.4 dan 4.5 dapat dicari nilai persentase *errornya* dengan menggunakan persamaan (4.1). Persentase *error* tersebut dapat dilihat pada tabel 4.11 dan 4.12.

Table 0.4 Persentase *Error Electro Motor* Sebelum Perbaikan

Percobaan Ke	V (Volt)	I (Ampere)	PF (Cosphi)	Pa (W)	Ps (Va)	Pr (Var)
1.	0.22 %	1.3 %	0.34 %	0.49 %	0.15 %	0.84 %
2.	0.17 %	1.3 %	0.11 %	0.30 %	0.09 %	0.40 %
3.	0.22 %	1.3 %	0 %	0.25 %	0.15 %	0.15 %
4.	0.30 %	1.3 %	0.22 %	0.34 %	0.10 %	0.71 %
5.	0.22 %	1.3 %	0.11 %	0.24 %	0.11 %	0.32 %
6.	0.17 %	1.3 %	0 %	0.24 %	0.21 %	0.09 %
7.	0.17 %	1.3 %	0 %	0.25 %	0.21 %	0.06 %
Rata-Rata Error (%)	0.21 %	1.3 %	0.11 %	0.30 %	0.14 %	0.36 %

Sumber : Dokumen Pribadi

Table 0.5 Persentase Error Electro Motor Setelah Perbaikan

Percobaan Ke	V (Volt)	I (Ampere)	PF (Cosphi)	Pa (W)	Ps (Va)	Pr (Var)
1.	0.34 %	1.5 %	0.10 %	0.06 %	0.11 %	0.57 %
2.	0.34 %	1.5 %	0.10 %	0.03 %	0.14 %	0.62 %
3.	0.08 %	1.5 %	0 %	0.16 %	0.16 %	0.16 %
4.	0.08 %	1.5 %	0 %	0.19 %	0.19 %	0.18 %
5.	0.21 %	1.4 %	0 %	0.10 %	0.10 %	0.10 %
6.	0.13 %	1.4 %	0 %	0.08 %	0.08 %	0.10 %
7.	0.34 %	1.5 %	0.10 %	0.06 %	0.10 %	0.23 %
Rata-Rata Error (%)	0.21 %	1.47 %	0.04 %	0.08 %	0.12 %	0.28 %

Sumber : Dokumen Pribadi

Dari perhitungan yang telah di lakukan di dalam mencari nilai persentase *error* antara *prototype* dengan alat ukur *standart* dapat di simpulkan bahwa nilai parameter beban akan berubah ubah atau *fluktuatif*. Hal ini dipengaruhi oleh kestabilan sumber daya listrik dimana *prototype* ini di operasikan. Untuk besar kecilnya perubahan nilai parameter beban dipengaruhi oleh besar kecilnya nilai tegangan dan arus listrik yang digunakan *prototype* dalam beroperasi. Adapun nilai pengukuran parameter beban yang dilakukan alat ini masih di kategorikan akurat, karena tingkat *error* yang dimiliki masih dalam batas toleransi. Dari 7 kali percobaan yang telah dilakukan, diketahui bahwa parameter tegangan memiliki nilai persentase *error* tertinggi dan terendah pada nilai 0.50 % dan 0.21 %. Parameter arus memiliki nilai persentase *error* tertinggi dan terendahnya sebesar 3.35 % dan 0.05 %. Nilai persentase *error* faktor daya tertinggi dan terendah pada nilai 0.52 % dan 0.04 %.

2. Analisis Kondisi Beban

a. Lampu TL

Pada hasil pengujian *prototype* di dapatkan bahwa lampu TL dapat di perbaiki nilai faktor dayanya dari 0.49-0.53 menjadi di atas 0.90 menggunakan *capacitor bank* dengan kapasitas 3,5 μ F. Hal ini dapat di buktikan dengan menggunakan rumus matematis perhitungan di dalam menentukan ukuran *capacitor*. Maka perlu diketahui daya reaktif kompensator (Q_c) yaitu :

$$\text{Cos } \Theta_1 = 0.51, \text{ maka } \Theta_1 = 59.33^\circ$$

$$\text{Cos } \Theta_2 = 0.98, \text{ maka } \Theta_2 = 11.48^\circ$$

Berdasarkan persamaan (2.12), maka daya reaktif kompensator yakni :

$$Q_c = P \times (\text{Tan } \Theta_1 - \text{Tan } \Theta_2)$$

$$Q_c = 34.55 \times (\tan 59.33^\circ - \tan 11.48^\circ)$$

$$Q_c = 51.24 \text{ Var} \dots\dots\dots(4.2)$$

Setelah Q_c diketahui, lakukan perhitungan nilai hambatan (X_c) menggunakan persamaan (2.13).

$$X_c = (V)^2 / Q_c$$

$$X_c = (222.30)^2 / 51.24$$

$$X_c = 964.42 \Omega \dots\dots\dots(4.3)$$

Selanjutnya menentukan ukuran *capacitor* menggunakan persamaan (2.14) :

$$X_c = 1 / 2 \cdot \pi \cdot F \cdot C$$

$$C = 1 / 2 \cdot \pi \cdot F \cdot X_c$$

$$C = 1 / 2 \cdot (3,14) \cdot (50) \cdot (964.42)$$

$$C = 3,3 \mu\text{F} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dari hasil perhitungan, nilai *capacitor* yang diperlukan untuk memperbaiki nilai faktor daya lampu TL menjadi di atas 0.90 adalah 3,3 μF . Apabila ukuran *capacitor* dari hasil perhitungan tidak ada, maka lakukan pemilihan ukuran *capacitor* yang nilainya paling mendekati di atasnya yakni sebesar 3,5 μF .

Pada saat yang bersamaan ketika memperbaiki nilai faktor daya lampu TL, maka nilai arus beban akan mengalami penurunan. Hal ini dapat dibuktikan dengan rumus matematis pada persamaan (4.5) sebelum dilakukan perbaikan dan persamaan (4.6) saat setelah dilakukan perbaikan.

$$I_n = \frac{34.55 \text{ Watt}}{222.30 \text{ Volt} \times 0.51 (\text{Cosphi})}$$

$$= 0.30 \text{ Ampere} \dots\dots\dots(4.5)$$

$$I_n = \frac{34.19 \text{ Watt}}{221.90 \text{ Volt} \times 0.92 (\text{Cosphi})}$$

$$= 0.16 \text{ Ampere} \dots\dots\dots(4.6)$$

Dari hasil perhitungan pada persamaan (4.5) dan (4.6) membuktikan bahwa dengan memperbaiki nilai faktor daya, maka dapat menurunkan nilai arus sehingga dapat memperpanjang umur isolasi kabel.

b. *Electro motor*

Pada hasil pengujian *prototype* di dapatkan bahwa *electro motor* dapat di perbaiki nilai faktor dayanya dari 0.84-0.88 menjadi di atas 0.90 menggunakan *capacitor bank* dengan kapasitas 4 μF . Hal ini dapat di buktikan dengan menggunakan rumus matematis perhitungan di dalam menentukan ukuran *capacitor*. Maka perlu diketahui daya reaktif kompensator (Q_c) yaitu :

$$\text{Cos } \Theta_1 = 0.85, \text{ maka } \Theta_1 = 31.78^\circ$$

$$\text{Cos } \Theta_2 = 0.98, \text{ maka } \Theta_2 = 11.48^\circ$$

Berdasarkan persamaan (2.12), maka daya reaktif kompensator yakni :

$$Q_c = P \times (\text{Tan } \Theta_1 - \text{Tan } \Theta_2)$$

$$Q_c = 144.45 \times (\text{Tan } 31.78^\circ - \text{Tan } 11.48^\circ)$$

$$Q_c = 60.57 \text{ Var} \dots\dots\dots(4.7)$$

Setelah Q_c diketahui, lakukan perhitungan nilai hambatan (X_c) menggunakan persamaan (2.13).

$$X_c = (V)^2 / Q_c$$

$$X_c = (226.90)^2 / 60.57$$

$$X_c = 849.98 \Omega \dots\dots\dots(4.8)$$

Selanjutnya menentukan ukuran *capacitor* menggunakan persamaan (2.14) :

$$X_c = 1 / 2.\pi.F.C$$

$$C = 1 / 2.\pi.F.X_c$$

$$C = 1 / 2.(3,14).(50).(849.98)$$

$$C = 3,74 \mu\text{F} \dots\dots\dots(4.9)$$

Dari hasil perhitungan, nilai *capacitor* yang diperlukan untuk memperbaiki nilai faktor daya *electro motor* menjadi di atas 0.90 adalah 3,74 μF . Apabila ukuran *capacitor* dari hasil perhitungan tidak tersedia, maka lakukan pemilihan ukuran *capacitor* yang nilainya paling mendekati di atasnya yakni sebesar 4 μF .

Pada saat yang bersamaan ketika memperbaiki nilai faktor daya *electro motor*, maka nilai arus beban akan mengalami penurunan. Hal ini dapat dibuktikan dengan rumus matematis pada persamaan (4.10) sebelum dilakukan perbaikan dan persamaan (4.11) saat setelah dilakukan perbaikan.

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{145.45 \text{ Watt}}{226.90 \text{ Volt} \times 0.85 \text{ (Cosphi)}} \\ &= 0.75 \text{ Ampere} \dots\dots\dots(4.10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{148.11 \text{ Watt}}{228.20 \text{ Volt} \times 0.97 \text{ (Cosphi)}} \\ &= 0.66 \text{ Ampere} \dots\dots\dots(4.11) \end{aligned}$$

Hasil perhitungan pada persamaan (4.10) dan (4.11) membuktikan bahwa dengan memperbaiki nilai faktor daya, maka dapat menurunkan nilai arus sehingga dapat memperpanjang umur isolasi kabel dan meningkatkan efisiensi.

3. Analisis Data Logger

Sistem perekaman data pada *prototype* ini dibedakan menjadi perekaman secara *online* melalui koneksi internet dengan menggunakan *Google Spreadsheet* dan perekaman secara *offline* menggunakan *Micro-SD*. *Google Spreadsheet* merupakan sistem perekaman utama pada *prototype* ini. Namun pada saat terjadi koneksi buruk atau tidak tersedianya koneksi internet, maka sistem perekaman *prototype* ini akan secara otomatis mengalihkan perekaman melalui *Micro-SD*. Pada tabel 4.6 menunjukkan bahwa perekaman melalui internet dapat berjalan dengan baik disertai waktu *real time* perekaman. Pada tabel 4.7 terlihat bahwa perekaman menggunakan *Micro-SD* dapat berjalan dengan baik, hanya saja perekaman yang dilakukan tidak dilengkapi tanggal dan waktu. Hasil dari pembacaan data parameter melalui *Google Spreadsheet* dengan *Micro-SD relative* sama, hanya saja pada *Micro-SD* memiliki pembacaan data dengan 3 angka di belakang koma.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sesuai dengan rumusan masalah yang telah terjawab dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *Prototype* Sistem Perbaikan Faktor Daya Otomatis Berbasis *Microcontroller* dengan sensor PZEM-004T dapat membaca dan mengukur nilai parameter beban listrik meliputi nilai tegangan, arus, daya aktif, daya semu, daya reaktif dan faktor daya. ESP32 sebagai *controller* sistem akan memproses dan mengendalikan nilai masukan dari sensor, apabila nilai faktor daya beban yang terukur buruk atau kurang dari 0.90,

controller akan memberikan sinyal kerja kepada *regulator solid state relay* yang tersambung dengan *capacitor bank* secara paralel terhadap beban. Sebaliknya apabila beban terukur memiliki nilai faktor daya yang baik (>0.90) *controller* tidak akan memberikan sinyal kerja kepada *regulator*, karena nilai faktor daya terukur sudah sesuai dengan nilai *set point* sistem. Dari hasil pengujiannya, *prototype* ini dapat memperbaiki nilai faktor daya beban induktif berupa lampu TL yang rendah dengan nilai 0.49-0.53 menjadi di atas 0.90 menggunakan *capacitor* 3,5 μF . Pada *electro motor* faktor daya di tingkatkan dari 0.84-0.88 menjadi di atas 0.90 menggunakan *capacitor* 4 μF . *Prototype* ini juga mampu menurunkan arus kerja beban dari 0.30-0.31 A menjadi 0.17-0.18 A pada lampu TL dan 0.74-0.76 A menjadi 0.66-0.68 A pada *electro motor*.

2. Sistem perekaman data *prototype* dapat bekerja dengan baik pada saat koneksi internet tersedia dengan melakukan perekaman melalui *Google Spreadsheet* serta mampu secara otomatis mengalihkan perekaman data menggunakan *Micro-SD* dengan baik pada saat koneksi internet tidak tersedia.

Saran

Berdasarkan pembuatan *prototype* Sistem Perbaikan Faktor Daya Otomatis Berbasis *Microcontroller* yang telah dilakukan penulis. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam segi penulisan serta pengujian. Oleh karenanya, ada beberapa saran yang penulis sampaikan untuk mengembangkan alat ini kedepannya, yakni:

1. Disarankan untuk menambahkan modul *Real Time Clock* (RTC) agar perekaman data pada *Micro-SD* dapat menampilkan tanggal, waktu dan jam.
2. Menambahkan rangkaian *harmonic filter* agar tegangan dan arus keluaran dari *capacitor bank* lebih berkualitas.
3. Menggunakan PLC sebagai *controllernya* agar lebih memiliki ketahanan terhadap suhu kerja yang tinggi serta untuk mempercepat pengolahan perekaman data.
4. Menggunakan beban yang memiliki daya lebih besar sehingga perubahan parameter dapat dirasakan dengan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir, H. LCD 20x4. Retrieved May 6, 2023, from <https://www.scribd.com/doc/185920131/LCD-20X4>
- Darmaastawan, K., Saputra, K. O., & Wirastuti, N. M. A. E. D. (2021). Optimasi peran desa adat di Bali melalui teknologi informasi. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 20(1), 161.
- Hariyadi, E. B. (2015). Perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor bank pada peralatan rumah tangga (Undergraduate thesis, Universitas Negeri Yogyakarta, Fakultas Teknik).
- Hengki, P., & Syavira, D. L. (2020). Rancang bangun trainer kit sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) (Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung).
- Irfan, et al. (2021). Sistem kendali dan monitoring faktor daya listrik berbasis mikrokontroler dan Internet of Things (IoT) [Online].
- Md Abdullah Al Rakib, et al. (2021). Arduino based automatic power factor control. Bangladesh: City University-Bangladesh, Faculty of Science & Engineering.
- Melipurbowo, B. G. (2016). Pengukuran daya listrik real time dengan menggunakan sensor arus ACS 712. *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial*, 12(1).
- Noor, F. A., Ananta, H., & Sunardiyo, S. (2017). Pengaruh penambahan kapasitor terhadap tegangan, arus, faktor daya, dan daya aktif pada beban listrik di minimarket. *Teknik Elektro*, 9(2), 67-68.
- Pakpahan, I. S. (1987). *Kontrol otomatis: Teori dan penerapan*. Jakarta: Erlangga.
- Pragmawati, K. (2016). Sistem kontrol peralatan elektronik rumah tangga menggunakan SMS gateway (Undergraduate thesis, Universitas Negeri Semarang).
- Pratama, V. A. (2021). Rancang bangun data logger berbasis SD card pengukur suhu ruangan laboratorium di Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya (Undergraduate thesis, Universitas Dinamika).
- Putri, M. O. (2020). Rancang bangun sistem penyimpanan data di mikro SD untuk keperluan pengukuran besaran listrik berbasis mikrokontroler (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- Rahmah, A., Sukmasetya, P., Romadhon, M. S., & Adriansyah, A. R. (2020). Developing distance learning monitoring dashboard with Google Sheet: An approach for flexible and low-price solution in pandemic era. 7th International Conference on ICT for Smart Society (ICISS 2020) - Proceedings. <https://doi.org/10.1109/ICISS50791.2020.9307558>
- Sankaran, C. (2002). *Power quality*. Florida: CRC Press.
- Saputra, A. C. (2014). Rancang bangun perbaikan faktor daya otomatis berbasis smart relay pada jaringan tegangan rendah tiga fasa (Doctoral dissertation, Riau University).

- Shiddieqy, A. A., & Pratiwi, S. (2021). Sistem kontrol perbaikan faktor daya pada pompa air berbasis Arduino (Unpublished doctoral dissertation). Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Fakultas Teknik.
- Von Meier, A. (2006). Electric power systems: A conceptual introduction. Hoboken, NJ: IEEE Press/Wiley-Interscience.
- Yendi, E., & Sigit, L. (2021). Analisa perbaikan faktor daya sistem kelistrikan. Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik, 11(1), 103-113.