

KARYA ILMIAH TERAPAN
SISTEM PERBAIKAN FAKTOR DAYA OTOMATIS
BERBASIS *MICROCONTROLLER*
PADA BEBAN LISTRIK KAPAL



Disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Pendidikan dan Pelatihan Pelaut
Diploma IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

HAFID ARRAFI

07.19.012.1.07

PROGRAM STUDI
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL

PROGRAM DIPLOMA IV PELAYARAN
POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
TAHUN 2024

KARYA ILMIAH TERAPAN
SISTEM PERBAIKAN FAKTOR DAYA OTOMATIS
BERBASIS *MICROCONTROLLER*
PADA BEBAN LISTRIK KAPAL



Disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Pendidikan dan Pelatihan Pelaut
Diploma IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

HAFID ARRAFI

07.19.012.1.07

PROGRAM STUDI
TEKNOLOGI REKAYASA KELISTRIKAN KAPAL

PROGRAM DIPLOMA IV PELAYARAN
POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
TAHUN 2024

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : HAFID ARRAFI

Nomor Induk Taruna : 07.19.012.1.07

Program Studi : Diploma IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

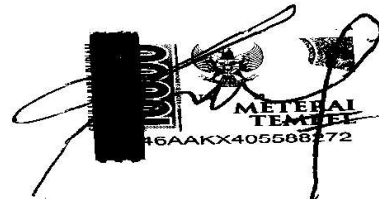
Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul :

SISTEM PERBAIKAN FAKTOR DAYA OTOMATIS BERBASIS MICROCONTROLLER PADA BEBAN LISTRIK KAPAL

Merupakan karya asli seluruh ide yang terdapat dalam KIT tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri.

Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

SURABAYA, 02 Februari 2024



HAFID ARRAFI

NIT : 07 19 012 1 07

**PERSETUJUAN SEMINAR HASIL
KARYA ILMIAH TERAPAN**

Judul : **SISTEM PERBAIKAN FAKTOR DAYA OTOMATIS
BERBASIS *MICROCONTROLLER* PADA BEBAN
LISTRIK KAPAL**

Nama Taruna : HAFID ARRAFI

NIT : 07.19.012.1.07

Program Studi : Diploma IV Teknologi Rekayasa Kelistrikan Kapal

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diseminarkan

Surabaya, 02 Februari 2024

Menyetujui,

Pembimbing I



SRI MULYANTO H, S.T., M.T.

Pembina (IV/a)

NIP. 197204181998031000

Pembimbing II



NOVRICO SUSANTO, S.T., M.M.

Pembina (IV/a)

NIP. 197911292003121002

Mengetahui
Ketua Prodi TRKK
Politeknik Pelayaran Surabaya



AHMAD KASAN GUPRON, M.Pd

Penata Tk. I (III/d)

NIP. 198005172005021003

**PENGESAHAN SEMINAR HASIL
SISTEM PERBAIKAN FAKTOR DAYA OTOMATIS BERBASIS
MICROCONTROLLER PADA BEBAN LISTRIK KAPAL**

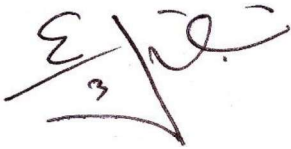
Disusun oleh :

HAFID ARRAFI
07 19 012 1 07
D IV TRKK REGULER

Telah dipertahankan di depan panitia Ujian Karya Ilmiah Terapan
Politeknik Pelayaran Surabaya
Pada tanggal, 13 Maret 2024

Menyetujui

Penguji I

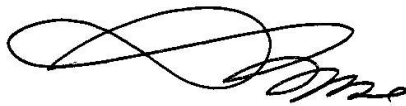


EDI KURNIAWAN, S.ST., MT.

Penata (III/c)

NIP. 198312022019021001

Penguji II



AHMAD KASAN GUPRON, M.Pd

Penata Tk. I (III/d)

NIP. 198005172005021003

Penguji III



SRI MULYANTO H, S.T., M.T.

Pembina (IV/a)

NIP. 197204181998031000

Mengetahui
Ketua Prodi TRKK
Politeknik Pelayaran Surabaya



AHMAD KASAN GUPRON, M.Pd

Penata Tk. I (III/d)

NIP. 198005172005021003

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan KIT ini dengan judul Sistem Perbaikan Faktor Daya Otomatis Berbasis *Microcontroller* Pada Beban Listrik Kapal. KIT ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan Program Diploma IV Politeknik Pelayaran Surabaya.

Penelitian ini dilaksanakan sebagai bentuk upaya penulis dalam memberikan solusi pada masalah rendahnya nilai faktor daya listrik dikapal, sehingga menyebabkan daya listrik pada sistem kelistrikan kapal tidak memiliki kualitas dan efisiensi yang baik. Penelitian ini menggunakan metode penelitian *trial and error*. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah membuat sebuah *prototype* sistem yang dapat memperbaiki nilai faktor daya yang rendah secara otomatis kemudian dapat menampilkan dan merekam data parameter beban listrik melalui jaringan internet menggunakan *Google Spreadsheet* dan apabila jaringan internet sedang tidak tersedia, maka data parameter beban listrik akan direkam melalui *Micro-SD*. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan, antara lain kepada :

1. Bapak Tasari dan Ibu Tri Warsiti selaku orang tua tercinta yang selalu memberikan doa, moral dan material.
2. Bapak Moejiono, M.T., M.Mar.E. selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya.
3. Bapak Sri Mulyanto Herlambang, S.T., M.T. dan Bapak Novrico Susanto, S.T., M.M. selaku dosen pembimbing.
4. Bapak Ahmad Kasan Gupron, M.Pd., Bapak Edi Kurniawan, S.ST., MT., Ibu Henna Nurdiansari, S.T., MT., M.Sc. yang telah memberikan arahan dan motivasi.
5. Segenap dosen Elektro Pelayaran Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah membimbing selama proses penyelesaian proposal Karya Ilmiah Terapan ini.

6. Bapak KH. Agus Santoso selaku guru dan motivator yang selalu memberikan pencerahan nasihat.
7. Lia Septi Hakiki selaku tante saya yang telah memberi bantuan berupa dukungan dan material.
8. Teman-teman yang selalu mendukung dan membantu saya.

Saya menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan KIT ini. Kritik dan saran yang membangun sangat saya harapkan dan semoga penelitian ini akan bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 02 Februari 2024



HAFID ARRAFI

NIT 07 19 012 1 07

ABSTRAK

HAFID ARRAFI, Sistem Perbaikan Faktor Daya Otomatis Berbasis *Microcontroller* Pada Beban Listrik Kapal Karya Ilmiah Terapan, Politeknik Pelayaran Surabaya. Dibimbing oleh Sri Mulyanto H, S.T., M.T. dan Novrico Susanto, S.T., M.M.

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*

ABSTRACT

HAFID ARRAFI, Microcontroller-Based Automatic Power Factor Improvement System for Ship Loads Applied Scientific Work, Surabaya Shipping Polytechnic. Mentored by Sri Mulyanto H, S.T., M.T. and Novrico Susanto, S.T., M.M.

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

DAFTAR ISI

Isi	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL	iii
PENGESAHAN SEMINAR HASIL	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Batasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Review Penelitian Sebelumnya	6
B. Landasan Teori	7
1. Daya Listrik	7
2. Segitiga Daya.....	9
3. Faktor Daya	10
4. Perbaikan Faktor Daya	12
5. Kapasitor <i>Bank</i>	14
6. Sistem Kontrol	17
7. ESP32	18
8. <i>Solid State Relay</i> (SSR)	19
9. Sensor Tegangan, Arus, Daya dan Energi (PZEM-004T).....	20

10. <i>Liquid Cristal Display</i> (LCD 20x4).....	21
11. <i>I2C Module</i>	22
12. Beban Listrik	23
13. <i>Google Spreadsheet</i>	25
14. <i>Module Micro-SD</i>	26
15. <i>SD Card</i>	27
16. <i>Miniatur Circuit Breaker</i> (MCB)	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
A. Perancangan Sistem.....	29
B. Perancangan Alat	34
C. Rencana Pengujian	35
1. Metode Penelitian	35
2. Tahapan Penelitian.....	36
3. Waktu Penelitian.....	38
4. Tempat Penelitian	39
5. Uji Validasi Data	39
6. Alat dan Bahan	39
7. Pengujian Statis dan Dinamis	40
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	47
A. Hasil Pengujian.....	47
1. Pengujian Statis	47
2. Perakitan dan Pemrograman	54
3. Pengujian Dinamis.....	56
B. Penyajian Data	61
1. Data Pengukuran Beban Resistif	61
2. Data Pengukuran Beban Induktif.....	62
3. Data Perekaman <i>Google SpreadSheet</i> dan <i>Micro-SD</i>	66
C. Analisis Data	67
1. Analisis Perbandingan Nilai Sensor Dan Alat Ukur <i>Standart</i>	67
2. Analisis Kondisi Beban	71
3. Analisis <i>Data Logger</i>	75

BAB V PENUTUP.....	76
A. Kesimpulan	76
B. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78

DAFTAR TABEL

Table	Halaman
Table 2.1 Review Penelitian Sebelumnya.....	6
Table 2.2 Tabel Spesifikasi Sensor PZEM-004T.....	21
Table 2.3 Spesifikasi LCD 20x4	22
Table 3.1 <i>Pin Mapping</i> Perancangan Alat	34
Table 4.1 Data Pengukuran Beban Resistif.....	62
Table 4.2 Hasil Pengukuran Lampu TL Sebelum Perbaikan	63
Table 4.3 Hasil Pengukuran Lampu TL Setelah Perbaikan	64
Table 4.4 Hasil Pengukuran <i>Electro Motor</i> Sebelum Perbaikan	65
Table 4.5 Hasil Pengukuran <i>Electro Motor</i> Setelah Perbaikan.....	66
Table 4.6 Tampilan Perekaman Data <i>Google Spreadsheet</i>	67
Table 4.7 Tampilan Perekaman Data <i>Micro-SD</i>	67
Table 4.8 Presentase <i>Error</i> Beban Resistif	68
Table 4.9 Persentase <i>Error</i> Lampu TL Sebelum Perbaikan	69
Table 4.10 Persentase <i>Error</i> Lampu TL Setelah Perbaikan.....	69
Table 4.11 Persentase <i>Error Electro Motor</i> Sebelum Perbaikan.....	70
Table 4.12 Persentase <i>Error Electro Motor</i> Setelah Perbaikan	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Segitiga Daya	10
Gambar 2.2 Bentuk Gelombang Beban Resistif	11
Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Beban Induktif.....	11
Gambar 2.4 Bentuk Gelombang Beban Kapasitif.....	12
Gambar 2.5 Kapasitor	14
Gambar 2.6 Kapasitor <i>bank</i>	15
Gambar 2.7 <i>Global Compensation Models</i>	15
Gambar 2.8 <i>Sectoral Compensation Models</i>	16
Gambar 2.9 <i>Individual Compensation Models</i>	17
Gambar 2.10 Sistem Kontrol <i>Closed Loop</i>	18
Gambar 2.11 Sistem Kontrol <i>Open Loop</i>	18
Gambar 2.12 ESP32	19
Gambar 2.13 <i>Solid State Relay</i>	20
Gambar 2.14 Sensor PZEM-004T.....	21
Gambar 2.15 <i>Liquid Cristal Display</i> 20x4.....	22
Gambar 2.16 <i>Modul I2C</i>	23
Gambar 2.17 Contoh Beban Resistif.....	24
Gambar 2.18 Contoh Beban Induktif.....	24
Gambar 2.19 Contoh Beban Kapasitif	25
Gambar 2.20 Tampilan <i>Google Spreadsheet</i>	26
Gambar 2.21 <i>Module Micro-SD</i>	26
Gambar 2.22 <i>SD Card</i>	27
Gambar 2.23 <i>Miniatur Circuit Breaker</i>	28
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem	29
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Sistem	33
Gambar 3.3 <i>Wiring</i> Perancangan Alat	34
Gambar 3.4 Alur Tahapan Penelitian.....	38
Gambar 3.5 <i>Layout</i> Luar <i>Protoype</i>	46

Gambar 3.6 <i>Layout Dalam Prototype</i>	46
Gambar 4.1 Pembacaan <i>Multitester</i>	48
Gambar 4.2 Stop Kontak dan Tampilan <i>Serial Monitor</i>	48
Gambar 4.3 Pengujian ESP32	49
Gambar 4.4 Pengujian LCD 20x4	50
Gambar 4.5 Pengujian <i>Capacitor Bank</i>	50
Gambar 4.6 Pengujian <i>Solid State Relay</i>	51
Gambar 4.7 Pengujian <i>Module Micro-SD</i>	52
Gambar 4.8 Pengujian <i>Micro-SD</i>	53
Gambar 4.9 Pengujian Beban	53
Gambar 4.10 Perakitan Komponen <i>Prototype</i>	54
Gambar 4.11 Sebelum dan Sesudah Perbaikan Pada Lampu TL	57
Gambar 4.12 Sebelum dan Sesudah Perbaikan Pada <i>Electro Motor</i>	58
Gambar 4.13 Pengujian Faktor Daya <i>Unity</i> Dengan Lampu Pijar	59
Gambar 4.14 Tampilan <i>Online Data Logger</i>	60
Gambar 4.15 File Data Perekaman <i>Micro-SD</i> berbentuk CSV	61
Gambar 4.16 Tampilan File CSV Melalui <i>Excell</i>	61

DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR SINGKATAN

1. IoT : *Internet Of Things*
2. APFC : *Automatic Power Factor Control*
3. Va : *Volt Ampere*
4. Var : *Volt Ampere Reactive*
5. SSR : *Solid State Relay*
6. MV : *Motor Vessel*
7. MDP : *Main Distribution Panel*
8. SDP : *Sub Distribution Panel*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

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 kapasitor bank yang dihubungkan secara paralel terhadap beban.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, agar penulisan penelitian ini tidak menyimpang dan untuk memudahkan dalam mencari solusi permasalahannya, oleh sebab itu penulis mengambil rumusan masalah antara lain :

1. Bagaimana mendesain *prototype* sistem perbaikan faktor daya yang baik ?
2. Bagaimana sistem *prototype* dalam melakukan perekaman parameter/sebagai *data logger* ?

C. Batasan Masalah

Untuk memperjelas arah dari pembahasan proyek KIT ini, maka diberikan batasan masalah yang meliputi :

1. Dalam penggunaan dan pemilihan beban listrik yang nantinya akan dibebankan pada *prototype* ini secara bergantian, penulis menggunakan *electro motor* 1 fasa 150 *Watt* dan lampu *tube lamp* (TL) 36 *Watt* sebagai

representasi beban induktif dan lampu pijar sebagai representasi beban resistif.

2. Alat ini menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T, regulator *Solid State Relay*, *Capacitor Bank*, *Google Spreadsheet* dan *Micro-SD* sebagai *data logger*.
3. Metode pemasangan kapasitor yang digunakan pada *prototype* ini yakni *individual compensation* dan faktor daya minimum sebesar 0.90.

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mendesain sebuah alat yang dapat memperbaiki serta meningkatkan nilai faktor daya yang rendah secara otomatis untuk meningkatkan efisiensi listrik.
2. Membuat sistem pemantauan dan perekaman data parameter beban listrik yang dapat di akses dari berbagai area di kapal secara *online* menggunakan *Google Spreadsheet*. Selain itu, untuk perekaman data parameter juga dapat dilakukan secara *offline* menggunakan *Micro-SD* saat koneksi internet tidak tersedia.

E. Manfaat Penelitian

Dengan dibuatnya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat. Adapun manfaat yang didapat antara lain :

1. Bagi taruna/i
 - a. Dapat digunakan sebagai bahan referensi dan pembelajaran terkait wawasan rumus perhitungan faktor daya.
 - b. Untuk mengaplikasikan ilmu yang diperoleh selama dibangku perkuliahan dan menerapkannya secara nyata.
2. Bagi Instansi/Perusahaan
 - a. *Prototype* ini dapat dikembangkan oleh perusahaan pelayaran atau industri sebagai solusi terkait masalah kualitas dan efisiensi listrik.
 - b. Apabila dikembangkan pada sistem tenaga listrik kapal dapat membantu kinerja generator kapal dalam menghasilkan dan menyuplai daya reaktif kepada beban induktif yang jumlahnya sangat banyak.
 - c. Dapat membantu perusahaan dalam mengurangi biaya investasi untuk penggantian kabel, dikarenakan dengan memperbaiki nilai faktor daya maka nilai arus beban akan berkurang sehingga memperpanjang umur isolasi kabel.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini merujuk pada referensi yang tertulis pada Tabel 2.1 dibawah ini :

Table 2.1 Review Penelitian Sebelumnya

No	Judul Jurnal	Penulis	Kesimpulan	Perbedaan Penelitian
1	<i>Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Pada Peralatan Rumah Tangga (2015)</i>	Eko Budi Hariyadi	Tujuan penelitian ini adalah merancang sebuah kapasitor bank untuk memperbaiki faktor daya pada peralatan rumah tangga agar dapat mengurangi pembayaran rekening listrik. Hasil dari penelitian ini mampu menaikkan nilai faktor daya dari 0.85 menjadi 0.94.	Perbedaan penelitian ini dengan penulis yakni dari sistem kendalinya. Dimana, pada penelitian ini masih konvensional menggunakan <i>relay</i> dan <i>push button</i> sedangkan penulis sudah menggunakan sistem otomatis dengan mikrokontroler.
2	<i>Arduino Based Automatic Power Factor Control (2021)</i>	Md Abdullah Al Rakib, Sumaiya Nazmi, Md Hasan Imam, Mohammad Nasir Uddin	Tujuan utama penelitian ini yakni membuat <i>Automatic Power Factor Control</i> (APFC) Unit yang digunakan untuk memperbaiki nilai faktor daya yang buruk akibat maraknya motor induksi. Berdasarkan hasil yang diperoleh, APFC ini dapat meningkatkan nilai faktor daya listrik dari 0.76 menjadi 0.97 pada beban.	Perbedaan penelitian antara penulis dan karya penelitian ini terletak pada perancangan dan pemilihan <i>hardware</i> yang digunakan. Kemudian alat penelitian ini belum dilengkapi dengan sistem <i>data logger</i> sedangkan alat penulis sudah dilengkapi sistem <i>data logger</i> untuk merekam nilai parameter beban listrik menggunakan <i>google preadsheet</i> dan <i>micro-sd</i> .

3	Sistem Kontrol Perbaikan Faktor Daya Pada Pompa Air Berbasis Arduino (2021)	Alhuda Ash Shiddieqy dan Sayu Pratiwi	Tujuan penelitian ini yakni merancang sistem kontrol untuk memperbaiki faktor daya pada pompa air secara otomatis. Berdasarkan hasil pengujian, sistem ini dapat memperbaiki nilai faktor daya menjadi di atas 0.9 dan arus kerja dari pompa air dapat diturunkan dari 0.96 A menjadi 0.73 A serta nilai daya reaktif nya juga ikut menurun..	Perbedaan penelitian antara penulis dengan karya penelitian ini yakni pada pemilihan komponen <i>switching</i> kapasitor bank ke dalam sistem. Dimana, penulis menggunakan <i>solid state relay</i> (SSR) sedangkan sistem ini menggunakan <i>relay</i> mekanis. Kemudian Penelitian penulis sudah mengembangkan dengan fitur <i>Internet Of Things</i> sebagai <i>data logger</i> .
---	---	---------------------------------------	---	--

Sumber: Dokumen Pribadi

B. Landasan Teori

Landasan teori adalah sumber teori yang mendasari suatu penelitian.

Landasan teori berisi definisi dan konsep yang telah disusun secara sistematis tentang variable suatu penelitian. Berikut adalah landasan teori yang digunakan antara lain :

1. Daya Listrik

Daya listrik adalah besarnya energi listrik yang diserap oleh suatu peralatan listrik setiap satuan waktu. Daya listrik dibagi menjadi 3 jenis yakni :

a. Daya semu (S)

Daya semu atau yang disebut juga sebagai daya buta (*Apparent Power*) merupakan daya yang dihasilkan dari penjumlahan trigonometri antara daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) (Esye Y. & Lesmana S., 2021).

Dengan kata lain, daya semu (S) adalah hasil perkalian antara tegangan dan arus. Satuan daya ini yakni *Volt Ampere* (Va). Untuk mencari daya semu pada sistem 1 fasa dan 3 fasa dapat menggunakan persamaaan (2.1) dan (2.2).

$$S = V \times I \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S = V \times I \times \sqrt{3} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

S = Daya semu (Va)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\sqrt{3}$ = Nilai untuk sistem 3 fasa, nilainya 1.73

b. Daya aktif (P)

Daya aktif disebut juga sebagai daya nyata. Daya ini merupakan daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya (Esye, Y. & Lesmana S., 2021). Satuan daya aktif adalah *Watt*. Untuk mencari daya aktif 1 fasa dan 3 fasa dapat menggunakan persamaan (2.3) dan (2.4).

$$P = V \times I \times \text{Cosphi} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$P = V \times I \times \sqrt{3} \times \text{Cosphi} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

P = Daya aktif (W)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\sqrt{3}$ = Nilai untuk sistem 3 fasa, nilainya 1.73

Cosphi= Nilai faktor daya atau sudut fasa.

c. Daya reaktif (Q)

Daya reaktif yakni banyaknya daya yang diperlukan untuk membangkitkan proses pembentukan medan magnet (Esye Y. & Lesmana S., 2021). Daya reaktif memiliki satuan yaitu *Volt Ampere Reactive* (Var). Berikut persamaan (2.5) dan (2.6) untuk mencari daya reaktif sistem 1 fasa dan 3 fasa.

$$Q = V \times I \times \sin\phi \dots\dots\dots (2.5)$$

$$Q = V \times I \times \sqrt{3} \times \sin\phi \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

Q = Daya reaktif (Var)

V = Tegangan (Volt)

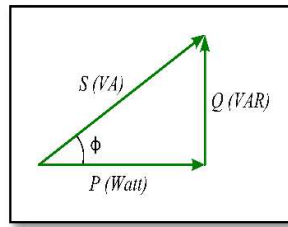
I = Arus (Ampere)

$\sqrt{3}$ = Nilai untuk sistem 3 fasa, nilainya 1.73

$\sin\phi$ = Nilai faktor reaktif (Q/S)

2. 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). Dengan menggunakan prinsip segitiga daya ini dapat memudahkan dalam menghitung nilai daya aktif, daya semu dan daya reaktif. Dari gambar 2.1 dapat dilihat bahwa sudut fasa sangat mempengaruhi besarnya daya reaktif.



Gambar 2.1 Segitiga Daya

Sumber : thecityfoundry.com

Berikut matematis persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9) tentang hubungan antara ketiga daya tersebut:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \dots\dots\dots (2.9)$$

3. Faktor Daya

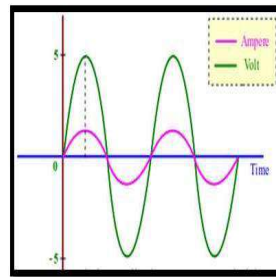
Berdasarkan penelitian C. Sankaran (2002) menyatakan bahwa faktor daya atau yang dikenal dengan istilah *cosphi* yakni perbandingan antara daya aktif (P) dengan daya semu (S). Sistem kelistrikan dan beban listrik harus memiliki nilai *cosphi* mendekati 1 atau sama dengan 1 agar dapat dikategorikan memiliki kualitas dan efisiensi yang baik. Adapun hal yang mempengaruhi tinggi rendahnya nilai *cosphi* tergantung dengan beban listrik yang digunakan. Diantaranya ada beban resistif, induktif dan kapasitif. Berikut persamaan (2.10) yang digunakan untuk mencari nilai faktor daya :

$$\text{Faktor daya atau } \cos\phi = P(W) / S(VA) \dots\dots\dots (2.10)$$

Faktor daya dibedakan menjadi 3 jenis, yakni :

a. Faktor daya *unity*

Faktor daya ini yakni keadaan dimana nilai $\cos\phi$ adalah 1. Hal ini terjadi karena tidak ada pergeseran antara fasa arus dan fasa tegangan. Faktor daya *unity* dapat terjadi apabila jenis beban adalah resistif murni. Kondisi faktor daya ini dapat dilihat pada gambar 2.2.

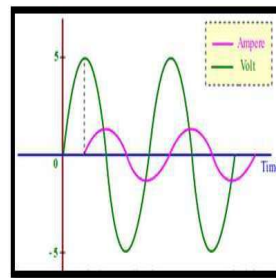


Gambar 2.2 Bentuk Gelombang Beban Resistif

Sumber : www.elektronikabersama.web.id (2012)

b. Faktor daya *lagging*

Faktor daya tertinggal (*Lagging*) yakni keadaan dimana nilai $\cos\phi$ dibawah 1. Hal ini diakibatkan adanya pergeseran antara fasa arus dan fasa tegangan oleh beban induktif. Dimana, Fase arus tertinggal dari fase tegangan. Pada kondisi ini maka beban listrik akan mengonsumsi daya reaktif dari sistem. Kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.3.

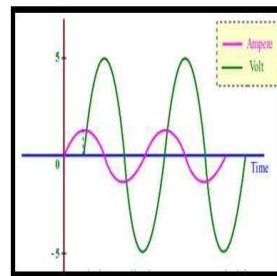


Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Beban Induktif

Sumber : www.elektronikabersama.web.id (2012)

c. Faktor daya *leading*

Faktor daya ini yakni keadaan atau kondisi dimana nilai $\cos\phi$ tidak lagi 1. Hal ini disebabkan adanya pergeseran antara fasa arus dan tegangan. Dimana, fasa arus mendahului fasa tegangan. Faktor daya *leading* terjadi apabila beban bersifat kapasitif. Dengan demikian maka nantinya beban kapasitif akan menghasilkan dan menyalurkan daya reaktif ke dalam sistem. Kondisi ini dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bentuk Gelombang Beban Kapasitif

Sumber : www.elektronikabersama.web.id (2012)

4. 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. Dengan demikian, nantinya sistem akan terbantu dalam memberikan, menghasilkan dan menyuplai kebutuhan daya reaktif untuk dikonsumsi oleh beban induktif guna mendukung proses kerjanya yakni pembentukan medan magnet. Pada praktiknya, salah satu cara yang dilakukan dengan cara menambahkan kapasitor pada sistem atau beban yang nilai faktor dayanya

ingin diperbaiki. Sebuah kapasitor atau yang dikenal dengan kapasitor bank harus memiliki daya Q_c sesuai dengan nilai selisih antara daya reaktif awal dan daya reaktif dengan faktor daya yang dibutuhkan. Jika keadaan terpenuhi, maka kapasitor bank akan memperbaiki faktor daya menjadi nilai maksimum (faktor daya = 1 atau mendekati 1). Untuk mencari besarnya daya reaktif yang diperlukan untuk mengubah faktor daya dapat ditentukan dengan persamaan (2.11).

$$Q_c = P \times (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \dots\dots\dots(2.11)$$

Untuk menghitung ukuran kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya dapat menggunakan persamaan (2.12), (2.13) dan (2.14).

$$Q_c = V^2 / X_c \dots\dots\dots(2.12)$$

$$X_c = V^2 / Q_c \dots\dots\dots(2.13)$$

$$C = 1 / 2 \pi . f . X_c \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

Q_c : Daya Reaktif Kompensator (Var)

X_c : Hambatan Kompensator (ohm)

V : Tegangan listrik (V)

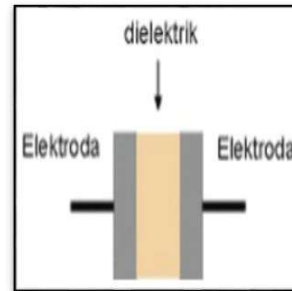
F : Frekuensi (Hz)

θ_1 : sudut phasa sebelum perbaikan

θ_2 : sudut phasa yang diinginkan

5. Kapasitor *Bank*

Kapasitor adalah komponen elektronik yang berfungsi menyimpan elektron-elektron atau muatan listrik. Besarnya kapasitansi dari sebuah kapasitor dinyatakan dalam satuan *Farad*. Untuk melihat ilustrasi kapasitor dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kapasitor

Sumber : www.belajaronline.net

Sedangkan yang dimaksud dengan kapasitor *bank* merupakan peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang terdiri dari sekumpulan kapasitor yang disambung secara *parallel*/seri untuk mendapatkan kapasitas kapasitif tertentu (M. Khairil Anwar, 2007). Besaran yang digunakan pada kapasitor bank yakni *Kilovolt-Ampere Reactive* (KVAR) meskipun di dalamnya terdapat besaran kapasitansi berupa farad atau microfarad. Prinsip kerja dari kapasitor bank yakni ketika kapasitor bank dalam sistem mendapatkan tegangan, maka *electron* bergerak menuju kapasitor. Ketika kapasitor telah dipenuhi muatan elektron nantinya tegangan menjadi berubah. Kemudian elektron menuju keluar dari kapasitor dan mengalir menuju rangkaian yang memerlukannya, pada kondisi tersebut kapasitor nantinya membangkitkan daya reaktif kapasitif untuk sistem. Jika

kapasitor diputuskan dari sistem maka kapasitor akan kembali menyimpan elektron. Contoh kapasitor yang dirakit secara paralel pada gambar 2.6.



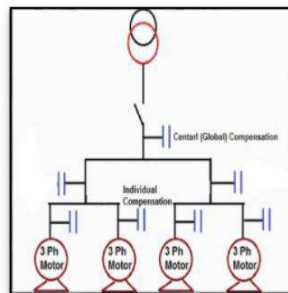
Gambar 2.6 Kapasitor *bank*

Sumber : m.kphoe.com

Adapun dalam pemasanganya, kapasitor *bank* memiliki 3 metode pemasangan yakni sebagai berikut :

a. *Global Compensation*

Metode ini adalah metode pemasangan kapasitor dilakukan pada *main distribution panel* (MDP) (Saputra A., 2014). Metode ini memiliki kelebihan yakni ekonomis karena biaya perawatannya lebih mudah. Lalu, kekurangan dari metode ini adalah rawan menimbulkan ledakan pada peralatan *switching*. Metode ini terlihat pada gambar 2.7.

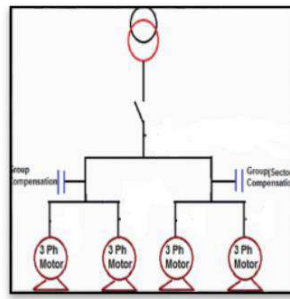


Gambar 2.7 *Global Compensation Models*

Sumber : electrical-engineering-portal.com

b. *Sectoral Compensation*

Metode pemasangan ini merupakan metode yang dimana kapasitor diletakan pada *sub distribution panel* (SDP) (Saputra A., 2014). Adapun kelebihan metode ini adalah biaya pemasangan rendah dan kapasitansi pemasangan dapat dimanfaatkan dengan optimal. Sedangkan kekurangan sistem ini diantaranya yakni hanya memberi kompensasi pada sisi atas dan perlu dipasang satu persatu kapasitor bank di setiap panel panel *sub*. Metode ini dapat dilihat pada gambar 2.8.

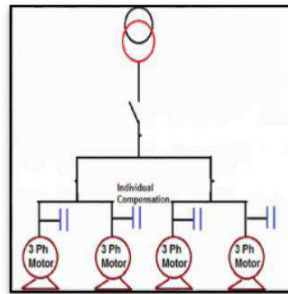


Gambar 2.8 *Sectoral Compensation Models*

Sumber : electrical-engineering-portal.com

c. *Individual Compensation*

Individual compensation merupakan salah satu metode pemasangan kapasitor *bank* secara langsung pada masing masing beban listrik yang berukuran besar dan memiliki nilai $\cos\phi$ yang rendah (Saputra A., 2014). Keuntungan model ini adalah dapat mengoptimalkan nilai kompensasi dan tegangan secara langsung serta meningkatkan kapasitas saluran suplai. Adapun kekurangannya yakni biaya pemasangan relatif tinggi dan membutuhkan kegiatan perawatan yang cukup lama. Metode ini dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Individual Compensation Models*

Sumber : electrical-engineering-portal.com

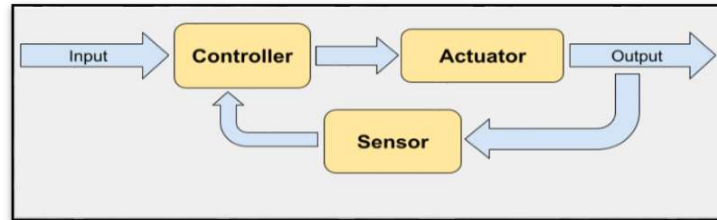
6. Sistem Kontrol

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”. Sedangkan menurut Pakpahan pada bukunya tahun 1987 “Sistem kontrol adalah proses pengaturan atau pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (*variable*, parameter) sehingga berada pada suatu harga atau suatu rangkuman harga (*range*) tertentu. Dari beberapa definisi tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol merupakan suatu sistem yang memproses pengendalian terhadap satu atau beberapa nilai masukan yang nantinya dapat mengeluarkan nilai keluaran yang sesuai dengan nilai yang dikehendaki atau nilai referensi. Sistem kontrol dibedakan menjadi 2 diantaranya. :

a. Sistem kontrol *Closed loop*

Sistem kontrol *closed loop* adalah sebuah sistem kontrol yang *outputnya* berpengaruh langsung terhadap aksi kendali. Yang menyebabkan nilai keluaran sistem digunakan lagi sebagai *feedback*

untuk mengetahui apakah nilai keluaran sudah sesuai dengan yang diinginkan (Pragmawati K., 2016). Sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.10.

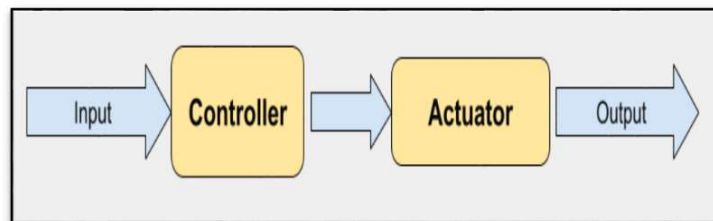


Gambar 2.10 Sistem Kontrol *Closed Loop*

Sumber : learnlearn.uk

b. Sistem kontrol *Open loop*

Sistem kontrol *open loop* merupakan sebuah sistem kontrol yang *outputnya* tidak berpengaruh terhadap aksi kendali. Sehingga nilai keluaran sistem tidak dapat digunakan sebagai perbandingan pada masukan sistem (Pragmawati K., 2016). Sistem *open loop* dapat dilihat pada gambar 2.11.



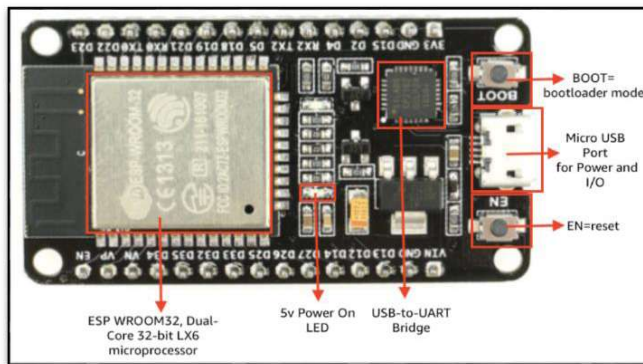
Gambar 2.11 Sistem Kontrol *Open Loop*

Sumber : learnlearn.uk

7. 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*. Hal ini disebabkan sudah tersedianya modul WiFi dan *Bluetooth* dalam chipnya. Keunggulan ESP32 dari jenis mikrokontroler yang lainnya yakni memiliki banyak pin yang dapat digunakan sebagai I/O. Mikrokontroler ini dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 ESP32

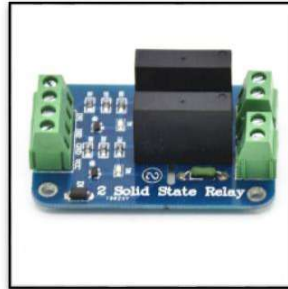
Sumber : catalog.us-east-1.prod.workshops.aws

8. *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*. Komponen ini dengan sakelar mekanik atau konvensional tidaklah berbeda, karena keduanya digunakan untuk memutuskan dan menghubungkan arus listrik. *Solid state relay* lebih banyak menawarkan keunggulan ketimbang penggunaan *relay mekanis*. *Solid state relay* tidak mengalami terjadinya aus pada komponennya, karena tidak memiliki bagian

yang bergerak. *Solid state relay* tidak mengalami korosi dikarenakan tidak adanya pemicu percikan api antar kontak (Kustiawan E., 2018).

Cara kerja komponen ini yakni akan menerima sinyal dari *controller*, lalu sinyal tersebut digunakan untuk menyalakan LED di dalam komponen. Cahaya LED akan memicu fotodioda atau foto-TRIAC yang terhubung ke pemicu. Setelah itu, fotodioda atau foto-TRIAC akan menghasilkan sinyal listrik yang mengaktifkan semikonduktor yang terhubung ke beban. Aliran listrik kemudian mengalir melalui semikonduktor yang terhubung ke beban. Sebaliknya, apabila sinyal kontrol pada *solid state relay* dimatikan, semikonduktor berubah menjadi tidak konduktif, sehingga aliran listrik ke beban terputus. Ssr ini dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 *Solid State Relay*

Sumber : sumeetinstruments.com

9. 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. Jika kita ingin menghubungkan dengan ESP32 maka

komunikasi yang digunakan adalah komunikasi serial (Pradana H dan Lingga S., 2020). Sensor ini dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Sensor PZEM-004T

Sumber : www.nn-digital.com

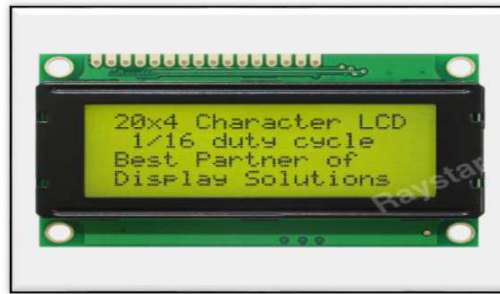
Table 2.2 Tabel Spesifikasi Sensor PZEM-004T

<i>Type</i>	<i>Voltage Regulator</i>
<i>Dissipation Power</i>	1
<i>Supply Voltage</i>	80-260 Volt
<i>Max Operating Current</i>	100-119 A
<i>Rated Voltage</i>	220 Volt
<i>Display Type</i>	<i>Digital Only</i>
<i>Power Supply</i>	<i>Alternating Current</i>

Sumber : Dokumen Pribadi

10. *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). Komponen ini dapat dilihat pada gambar 2.15.

Gambar 2.15 *Liquid Cristal Display 20x4*

Sumber : <https://www.raystar-optonics.com>

Untuk spesifikasi LCD 20x4 dapat dilihat pada tabel 2.3. :

Table 2.3 Spesifikasi LCD 20x4

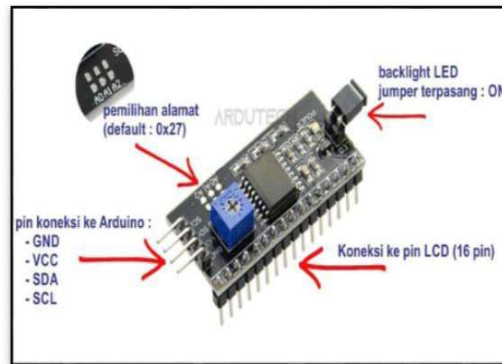
No	Nama	Spesifikasi
1	<i>Display Format</i>	<i>20 Characters x 4 lines</i>
2	<i>Blue backlight</i>	<i>I2C</i>
3	<i>Supply voltage</i>	<i>5V</i>
4	<i>Back lit</i>	<i>Blue with white char color</i>
5	<i>Pcb Size</i>	<i>60mm x 99mm</i>
6	<i>Backlight Adjust</i>	<i>Jumper</i>
7	<i>Contrast Adjust</i>	<i>Potentiometer</i>

Sumber : Dokumen Pribadi

11. *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. Kemudian piranti yang dihubungkan dengan sistem I2C *bus* dapat dioperasikan sebagai *slave*. *Master* merupakan komponen yang memulai aktivitas transfer data

pada I2C *bus* dengan membentuk sinyal *start*, mengakhiri transfer data dengan membentuk sinyal *stop* dan membangkitkan sinyal *clock* (Fajar Ikhsan, 2018). Modul I2C dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Modul I2C

Sumber : www.ardutech.com

12. Beban Listrik

Beban listrik berdasarkan karakteristiknya dikelompokkan menjadi tiga macam, diantaranya. :

a. Beban resistif

Beban resistif merupakan peralatan listrik yang memiliki prinsip kerja dengan sistem resistansi. Beban jenis ini hanya mengonsumsi daya aktif. Selain itu, beban ini tidak mengakibatkan pergeseran fasa. Beberapa contoh peralatan listrik yang bersifat resistif seperti: lampu pijar, setrika, solder dan lain lain. Jenis beban ini dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Contoh Beban Resistif

Sumber : Dokumen Pribadi

b. Beban induktif

Beban induktif merupakan peralatan listrik yang tersusun atas beberapa lilitan kawat (kumparan). Kumparan pada beban induktif berfungsi untuk menciptakan medan magnet. Pada beban jenis ini tidak hanya mengonsumsi daya aktif saja, tetapi juga mengonsumsi daya reaktif. Karena daya reaktif adalah jenis daya yang dapat membantu proses pembentukan medan magnet (Esye Y. & Lesmana S., 2021). Beberapa contoh beban induktif seperti: *electro motor*, *solenoid*, *inverter*, trafo las listrik, lampu TL dan lainnya. Jenis beban ini dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Contoh Beban Induktif

Sumber : Dokumen Pribadi

c. Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah peralatan listrik yang memiliki sifat kebalikan dari beban induktif. Beban ini bersifat menghalangi terjadinya perubahan nilai tegangan listrik serta akan menghasilkan dan menyalurkan daya reaktif kepada sistem (Esye Y. & Lesmana S., 2021). Beberapa contoh beban kapasitif seperti: motor sinkron, kapasitor bank dan lainnya. Contoh jenis beban ini dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Contoh Beban Kapasitif

Sumber : Dokumen Pribadi

13. Google Spreadsheet

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). Adapun tampilan dari *Google Spreadsheet* sebagai *data logger* dapat dilihat pada gambar 2.20.

1	Timestamp	温度	湿度	光	openWeather	Kローゼット
2212	2023-04-29T05:32:25Z	21.8	20.2	14.8	14	20.9
2213	2023-04-29T05:37:24Z	21.8	20.2	14.9	13.99	20.9
2214	2023-04-29T05:42:24Z	21.8	20.2	15.2	13.99	20.9
2215	2023-04-29T05:47:24Z	21.5	20.4	15.6	14.63	20.9
2216	2023-04-29T05:52:26Z	21.5	20.5	16.2	14.63	20.9
2217	2023-04-29T05:57:30Z	21.5	20.6	16.6	14.82	20.9
2218	2023-04-29T06:02:27Z	21.5	20.6	17	14.82	20.8
2219	2023-04-29T06:07:25Z	21.5	20.6	17.4	14.82	20.8
2220	2023-04-29T06:12:24Z	21.5	20.8	18	14.82	20.8
2221	2023-04-29T06:17:26Z	21.2	20.8	18.7	15.7	20.8
2222	2023-04-29T06:22:32Z	21.2	20.8	19.1	15.7	20.8
2223	2023-04-29T06:28:10Z	21.2	20.9	19.1	15.7	20.7
2224	2023-04-29T06:28:39Z	21.2	20.9	19.1	15.7	20.7
2225	2023-04-29T06:32:34Z	21.2	21	19.5	15.7	20.6

Gambar 2.20 Tampilan *Google Spreadsheet*Sumber : www.github.com

14. *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. Modul ini biasa dimanfaatkan pada *project* yang berkaitan dengan *record data/logging*. Tegangan kerja modul ini pada kisaran 3.3 VDC – 5 VDC (Putri, 2020). Modul ini dapat dilihat pada gambar 2.21.

Gambar 2.21 *Module Micro-SD*Sumber : digiwarestore.com

15. *SD Card*

SD Card merupakan kartu memori jenis *non-volatile* yang dikembangkan oleh *SD Card Association* yang digunakan pada peralatan *portable* (Pratama, 2021). *SD Card* dibedakan menjadi beberapa kelompok berdasarkan ukuran kapasitasnya, diantaranya SDSC dengan kapasitas maksimumnya 2GB-4GB, SDHC/*High Capacity* dengan kapasitas 4GB-32GB dan SDXC/*Extended Capacity* kapasitasnya di atas 32GB hingga 2TB. Dengan adanya beraneka ragam kapasitas *SD Card* maka nantinya setiap *protocol* komunikasinya berbeda. *SD card* dapat dilihat pada gambar 2.22.



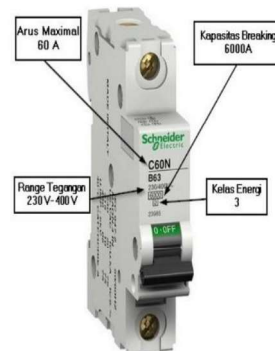
Gambar 2.22 *SD Card*

Sumber : cam-do.com

16. *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*. Keuntungan menggunakan MCB diantaranya dapat memutuskan rangkaian tiga fasa walaupun terjadi hubung singkat pada salah satu fasanya, dapat digunakan kembali pada

saat rangkaian telah diperbaiki akibat *short circuit* atau *overload*. Tampilan fisik MCB serta spesifikasiya dapat dilihat pada gambar 2.23.



Gambar 2.23 *Miniatur Circuit Breaker*

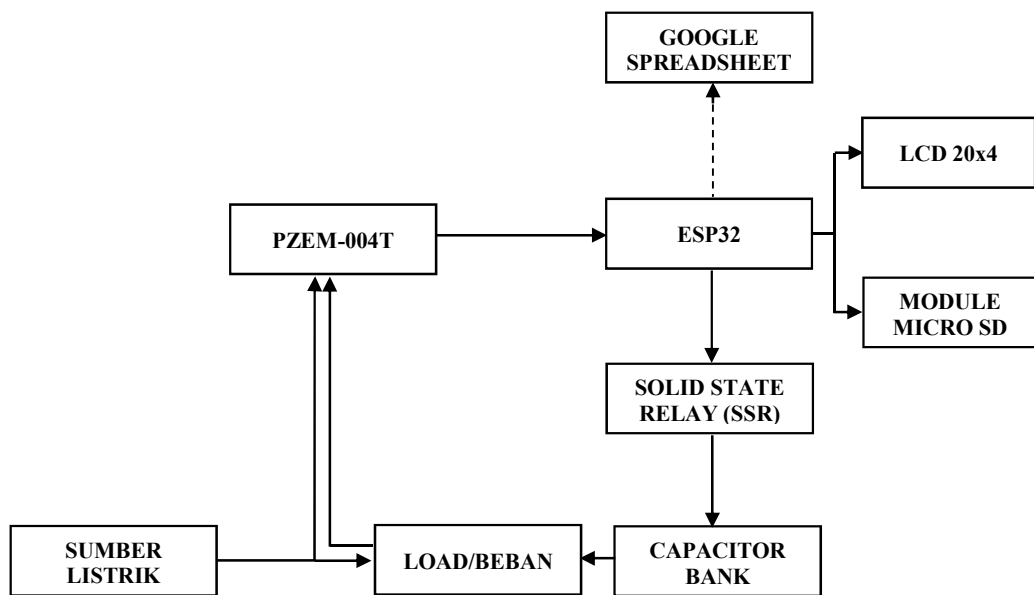
Sumber : electrical.id

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada pembuatan *prototype* “Sistem Perbaikan Faktor Daya Otomatis Berbasis *Microcontroller* Pada Beban Listrik Kapal” sesuai pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

Sumber: Dokumen Pribadi

Dari blok diagram pada gambar 3.1 terdapat bahwa sistem ini terbagi menjadi beberapa bagian seperti : sensor PZEM-004T, ESP32, *Google Spreadsheet*, LCD 20x4, *Solid State Relay*, *Capacitor Bank*, *Module Micro-SD*, *Micro-SD* dan *Load*/beban listrik.

1. Sensor PZEM-004T

Sensor ini digunakan untuk mendeteksi nilai dari membaca nilai parameter beban yang meliputi tegangan, arus, energi, daya dan faktor daya.

2. ESP32

ESP32 difungsikan sebagai *controller*. ESP32 akan bekerja untuk mengendalikan sistem dan membandingkan antara *input* referensi (*Set Point*) dengan nilai yang sebenarnya ada di *output* atau yang dikenal dengan nilai umpan balik (*Feedback Input*). Apabila nilai *output* sudah sesuai dengan nilai referensi ($\cos\phi > 0.90$) maka *controller* tidak akan memberikan sinyal kerja kepada regulator (SSR) yang tersambung dengan kapasitor bank, dalam kondisi ini *input feedback* tidak bekerja lagi, karena nilai *output* sudah sesuai dengan nilai referensi. Namun sebaliknya, apabila nilai *output* tidak sesuai dengan nilai referensi ($\cos\phi < 0.90$) maka *controller* akan membandingkan nilai referensi dengan nilai umpan balik, kemudian memberikan sinyal kerja kepada regulator (SSR) yang tersambung dengan *capacitor bank* untuk menyuntikan daya reaktif kapasitif kepada beban.

3. Google Spreadsheet

Google Spreadsheet berfungsi sebagai tempat *memonitoring* dan perekam data parameter beban (*data logger*) yang dapat diakses perangkat melalui internet.

4. LCD 20x4

LCD 20x4 digunakan untuk menampilkan data parameter beban secara *local* dimana sistem ini diletakkan.

5. *Solid State Relay*

Solid State Relay (SSR) digunakan sebagai perangkat *switching* yang akan bekerja (*close*) untuk menghubungkan *capacitor bank* ke dalam sistem atau beban apabila nilai $\cos\phi$ beban dibawah 0.90.

6. *Capacitor Bank*

Komponen ini difungsikan sebagai kompensator daya reaktif pada beban untuk memperbaiki nilai faktor daya dengan cara menyuntikkan daya reaktif kapasitif kepada sistem.

7. *Module Micro-SD*

Komponen ini berfungsi untuk membaca dan menulis data dari *Micro-SD*. Dengan kata lain komponen ini yang akan menjembatani ESP32 sebagai *controller* dengan *Micro-SD*.

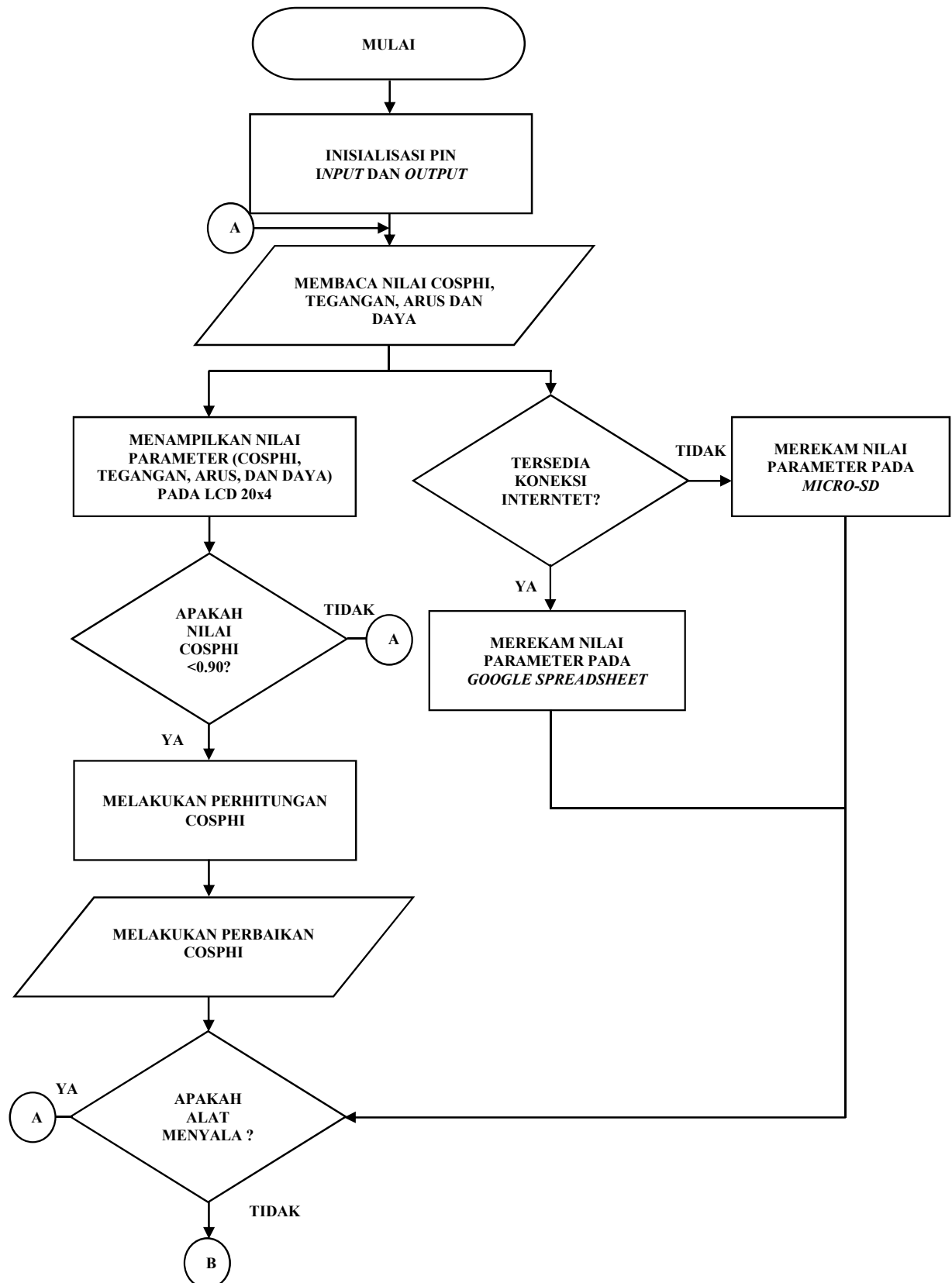
8. *Micro-SD*

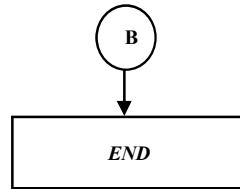
Komponen ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan data parameter beban yang meliputi nilai tegangan, arus, daya dan $\cos\phi$ saat koneksi internet tidak tersedia.

9. *Load*/beban listrik.

Load/beban yang digunakan yakni berupa *electro motor* 1 fasa 150 *Watt* dan lampu TL sebagai representasi beban induktif serta lampu pijar sebagai representasi beban resistif. Dengan menggunakan jenis beban yang berbeda ini, maka kita dapat membandingkan keadaan nilai faktor daya yang berbeda.

Dalam melakukan perancangan alat ini di perlukan alur kerja dari sistem yang dapat dilihat pada *flowchart* di gambar 3.2.



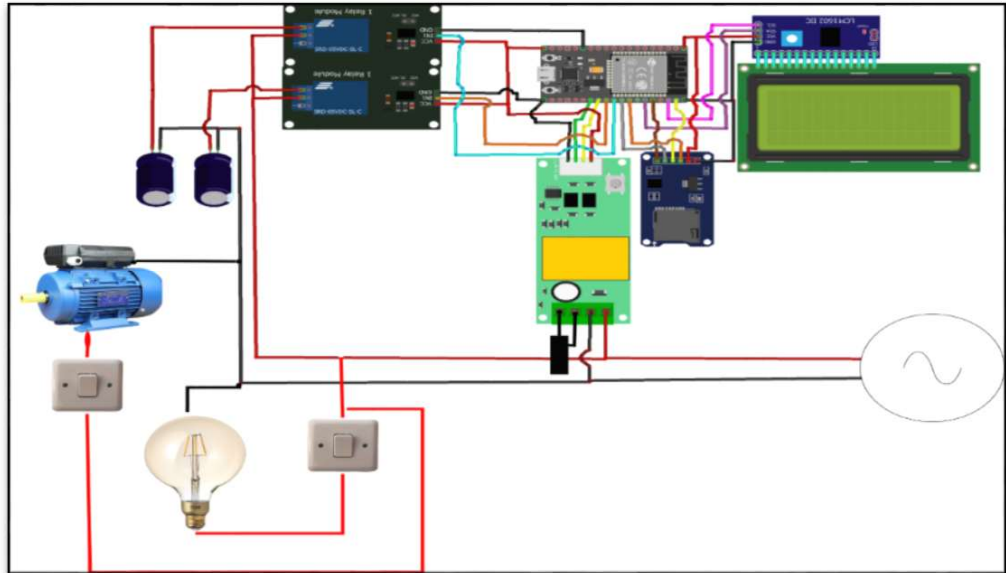
Gambar 3.2 *Flowchart* Sistem

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan *flowchart* pada gambar 3.2 bahwa proses kerja dari sistem ini di mulai dengan inisialisasi pin *input* dan *ouput* sebuah *controller* yakni ESP32 dan mulai membaca nilai parameter yang meliputi nilai *cosphi*, tegangan, arus dan daya. Kemudian nilai parameter tersebut akan di proses oleh *controller* serta nantinya akan ditampilkan melalui LCD 20x4. Selain itu nilai parameter akan direkam melalui *Google Spreadsheet* apabila adanya koneksi internet. Namun apabila koneksi internet tidak tersedia, maka nilai parameter akan direkam menggunakan *Micro-SD*. Selanjutnya apabila sistem ini mendeteksi adanya beban dengan nilai *cosphi* yang baik (tidak < 0.90) maka sistem akan kembali membaca nilai parameter. Tetapi sebaliknya, apabila sistem mendeteksi adanya beban yang memiliki nilai *cosphi* < 0.90 maka *controller* akan melakukan perhitungan *cosphi* dengan menghitung nilai daya reaktif kapasitif yang dibutuhkan serta selanjutnya sistem akan mulai memperbaiki *cosphi* dengan mengaktifkan *solid state relay* yang tersambung dengan *capacitor bank*. Setelah itu apabila sistem bekerja/menyalakan akan kembali lagi untuk melakukan pembacaan nilai parameter dan apabila tidak bekerja maka akan berakhir (*looping*).

B. Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian pembuatan *prototype* “Sistem Perbaikan Faktor Daya Otomatis Berbasis *Microcontroller* Pada Beban Listrik Kapal” dapat dilihat pada gambar 3.3 dan untuk informasi terkait pin yang digunakan pada sistem terdapat pada tabel 3.1.



Gambar 3.3 *Wiring* Perancangan Alat

Sumber: Dokumen Pribadi

Table 3.1 *Pin Mapping* Perancangan Alat

ESP 32	SSR	LCD	MODULE SD-CARD	PZEM-004T
VCC	VCC	VCC	VCC	VCC
GND	GND	GND	GND	GND
GPIO5	-	-	CS	-
GPIO18	-	-	SCK	-
GPIO19	-	-	MISO	-
GPIO23	-	-	MOSI	-
GPIO25	IN 1	-	-	-
GPIO33	IN 2	-	-	-
GPIO22	-	SCL	-	-
GPIO21	-	SDA	-	-
TX2	-	-	-	RX
RX2	-	-	-	TX

Sumber: Dokumen Pribadi

C. Rencana Pengujian

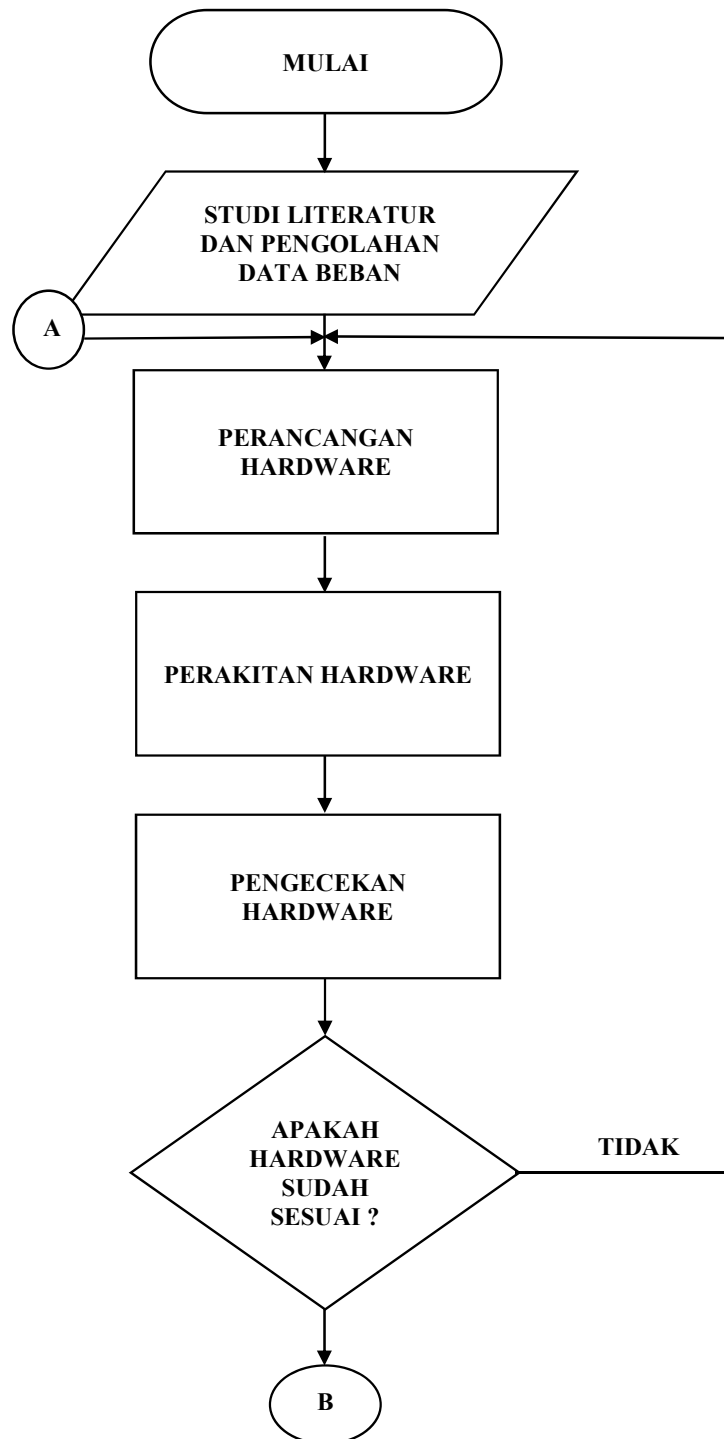
1. Metode Penelitian

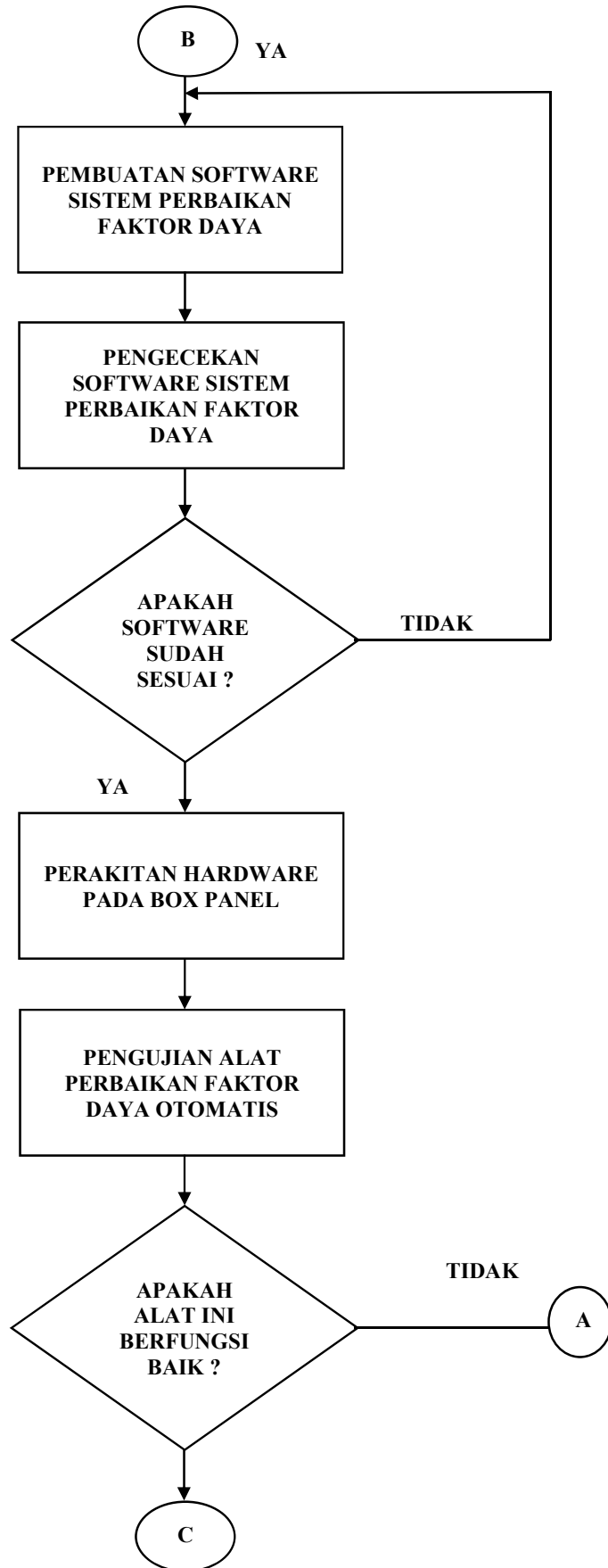
Trial and error merupakan metode pemecahan masalah dengan melakukan upaya-upaya guna mendapatkan dan mencapai solusi. Proses *trial and error* yang dilakukan seseorang adalah mencoba, lalu melakukan kesalahan, lalu menganalisis dan terakhir memutuskan (Anon, 2021). Berdasarkan metode penelitian ini, 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 .

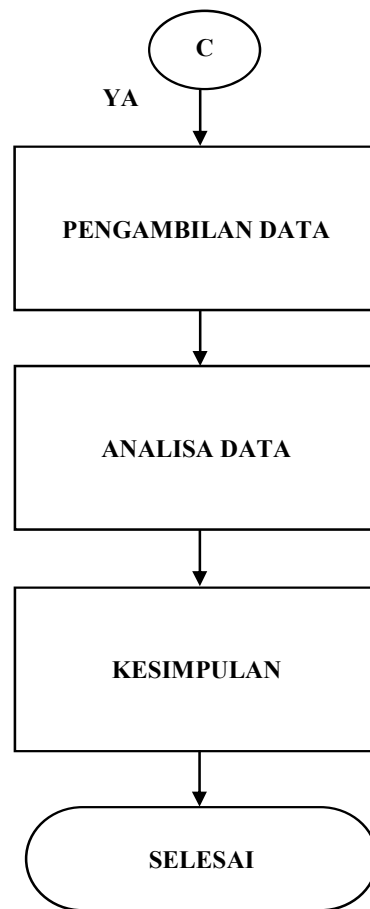
Proses *trial* disini dilakukan dengan mencoba menghidupkan salah satu dari jenis beban berbeda yakni induktif dan resistif pada *prototype* ini dengan menancapkan steker beban yang akan dijalankan (beban induktif). Lakukan uji coba menjalankan beban selama 30 detik, hingga mencapai 7 kali percobaan 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.

2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian adalah level atau tingkatan dalam penelitian yang dilakukan secara sistematis, runtut dan baku. Pada penelitian ini penulis memaparkan urutan atau tahap demi tahap penelitian agar penelitian menjadi lebih terstruktur. Tahapan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.4.







Gambar 3.4 Alur Tahapan Penelitian

Sumber: Dokumen Pribadi

3. Waktu Penelitian

Penelitian pada KIT ini dilaksanakan ketika penulis telah selesai melaksanakan praktek layar di atas kapal MV. Pulau hoki selama 12 bulan dan beberapa bulan di kampus Politeknik Pelayaran Surabaya untuk membuat sebuah *project* dan mengambil data-data penelitian KIT ini. Sehingga nantinya pada bagian akhir, penulis bisa memperoleh kesimpulan terhadap masalah yang ada pada penelitian ini.

4. Tempat Penelitian

Penulis melaksanakan penelitian KIT ini selama di atas kapal MV. Pulau hoki dan setelah turun dari kapal sebagai bentuk mencari solusi terhadap permasalahan yang pernah dialami penulis sewaktu melaksanakan praktik layar.

5. Uji Validasi Data

Uji validasi data yang dilakukan yakni dengan cara membandingkan pengukuran yang dilakukan antara alat *prototype* penulis dengan alat ukur *standart* yakni *multitester*, *clamp meter* dan rumus matematis perhitungan faktor daya. Kemudian setelah dilakukan perbandingan, maka akan diketahui tingkat nilai *error* pada *prototype* penulis.

6. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan untuk merancang alat ini adalah :

- a. Sensor PZEM-004T
- b. ESP32 dan *Dot Matriks*
- c. *Solid State Relay*
- d. *Capacitor Bank*
- e. LCD 20x4
- f. Hostspot untuk koneksi internet dengan *Google Spreadsheet*
- g. Solder
- h. Tang
- i. Beban *inductive* dan *resistive* untuk uji cobanya sebagai representasi beban kapal

- j. Spacer PCB, stop kontak, kabel dan steker
- k. *Box* panel mini ukuran 12x25x35 cm
- l. *Power Supply* 5VDC untuk ESP32
- m. Bor listrik
- n. *Module Micro-SD dan Micro-SD.*

7. Pengujian Statis dan Dinamis

a. Rencana Pengujian Statis

- Pengujian sensor PZEM-004T berfungsi untuk mengukur nilai parameter beban listrik. Pengujian sensor ini dapat dilakukan dengan menghubungkan sensor PZEM-004T dengan *controller* ESP32. Lakukan *upload* program untuk menampilkan pembacaan nilai parameter beban listrik. Hasil data pengukuran sensor dapat dilihat pada layar *serial monitor*. Untuk memastikan keakuratan dan kondisi sensor dalam keadaan baik, maka dilakukan perbandingan menggunakan alat *multitester*. Koneksi pengkabelan pada pengujian dilakukan dengan menghubungkan kabel dari sensor CT lalu hubungkan terhadap stop kontak 220VAC dan *port* yang lainnya dihubungkan ke beban, maka akan secara otomatis membaca nilai arus dan tegangan pada beban tersebut.
- Pengujian mikrokontroler ESP32 dapat dilakukan dengan memberikan sumber tegangan masukan pada ESP32 sehingga dapat menyala. Kemudian dapat melakukan *upload* program sederhana seperti *on/off* LED untuk memastikan ESP32 dapat menerima nilai masukan serta dapat memberikan nilai keluaran berupa aksi menyalakan lampu LED.

- Pengujian LCD 20x4 dilakukan dengan menghubungkannya dengan ESP32. Kemudian melakukan *upload* program sederhana untuk menampilkan karakter “HAFID ARRAFI TRKK” yang telah dibuat pada pemrogramannya. LCD 20x4 dalam keadaan baik apabila dapat menerima sinyal keluaran dari ESP32 berupa aksi menampilkan karakter “HAFID ARRAFI TRKK” yang telah dibuat pada program sebelumnya.
- Pengujian *Capacitor Bank* dilakukan dengan mengukur kedua terminal kabelnya dengan menggunakan *multitester*. Pastikan *selector* pada *multitester* di bagian Farad. Hasil pengukuran menunjukkan nilai yang sesuai dengan spesifikasi/*rate capacitor* tersebut. Nilai kapasitansi kapasitor terukur yang sesuai dengan spesifikasinya menandakan bahwa kapasitor tersebut dalam keadaan baik.
- *Solid State Relay* (SSR) akan dihubungkan dengan ESP32. Setelah terhubung lakukan *upload* program sederhana input digital pada ESP32 untuk memberikan *trigger/* sinyal kerja kepada komponen ini. Pada saat *solid state relay* menerima sinyal kerja, lakukan pengecekan pada kontak *Normally Open* (NO) dengan *multitester*. Pastikan kontaknya sudah dalam keadaan menjadi *Close*/tertutup.
- *Module Micro-SD* dapat di uji kondisinya dengan menghubungkan pada ESP32. *Upload* program sederhana modul ini di dalam menjembatani komunikasi antara ESP32 dan Micro-SD. Hasil pengujian komponen ini dalam keadaan baik apabila pada *serial monitor* sudah dapat menampilkan tampilan pengiriman dan

penerimaan data yang dilakukan ESP32 menuju file yang ada di dalam Micro-SD dengan nama “data.csv”.

- Pengujian *Micro-SD* dapat dilakukan dengan memasukannya ke soket kartu memori pada *cardrider*, hubungkan *cardrider* pada USB PC kita. Hasil uji coba dapat dikatakan baik apabila data yang direkam dapat tersimpan dan dibuka pada *Micro-SD*.
- Pengujian Beban/Load dilakukan dengan memberikan tegangan kerja yang sesuai pada setiap beban. Beban yang diuji berupa *electro motor* 150 *Watt* dan Lampu TL 36 *Watt* sebagai representasi beban induktif serta Lampu pijar sebagai representasi beban resistif.

b. Rencana Pengujian Dinamis

Rencana pengujian dinamis akan dilakukan dengan beberapa tahap, setelah semua komponen *hardware* dan *software* sudah terkoneksi dan terpasang dengan baik pada box panel, diantaranya:

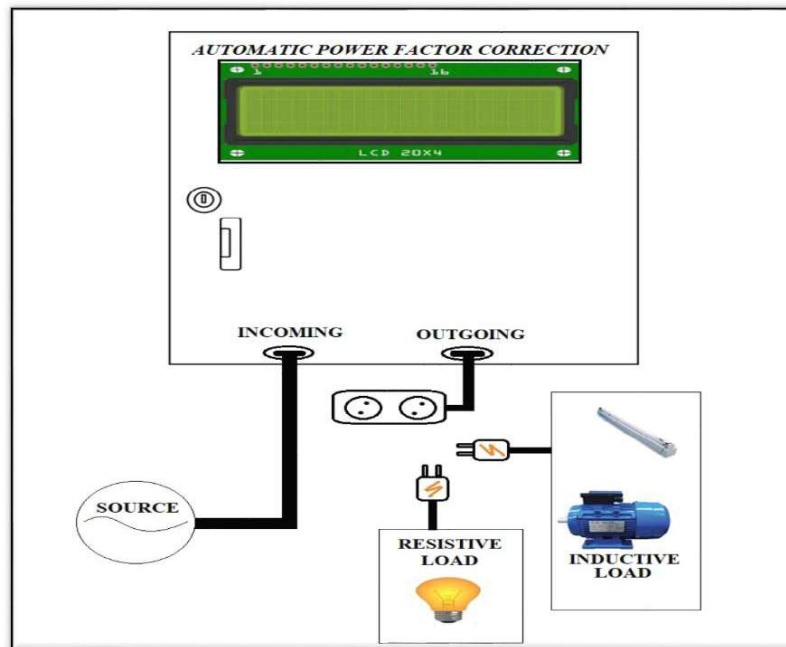
- Menyiapkan sumber tegangan masukan untuk panel *box prototype* perbaikan faktor daya otomatis ini. Lalu lakukan pengecekan terhadap komponen di dalam box panel untuk memastikan dalam keadaan baik dan aman. Selanjutnya, menyalakan *mini circuit breaker* utama pada *panel box*. Nantinya sumber tegangan listrik sudah dapat dialirkan menuju terminal arus AC serta dialirkan untuk menghidupkan *power supply*. Terminal arus AC ini dimanfaatkan untuk tempat terkoneksi beban listrik yang akan dihubungkan serta untuk mengaktifkan pin PT dan CT sensor PZEM-004T. Sedangkan keluaran dari *power supply* yang sudah berbentuk arus DC akan digunakan untuk menghidupkan komponen lainnya seperti ESP32, SSR, Module *Micro-SD*.

- Untuk melakukan pengujian terhadap sistem ini dalam membaca, merekam dan memperbaiki nilai faktor daya, maka penulis menggunakan beban listrik berupa *electro motor* 1 fasa 150 *Watt*, Lampu TL 36 *Watt* dan lampu pijar yang akan kita hubungkan ke terminal beban *Alternating Current* (AC) pada *panel box*. Pastikan probe CT dari sensor PZEM-004T sudah melingkari line fasa dan pin PT PZEM-004T sudah diberi masukan tegangan listrik. Selain itu, koneksi internet harus dipastikan sedia untuk *memonitoring* serta merekam parameter dari beban. Disini penulis menggunakan *smarthphone*.
- Ketika *electro motor* dan lampu TL sebagai representasi beban induktif serta lampu pijar sebagai representasi beban resistif sudah disiapkan, selanjutnya kita dapat memulai pengujian dengan cara menancapkan steker atau colokan setiap beban secara bergantian. Dimana hal ini sesuai dengan metode perbaikan yang digunakan yakni *individual compensation*.
- Pengujian pertama saat kondisi faktor daya *lagging* atau pada saat *prototype* dibebani beban induktif yang memiliki nilai $\cos\phi < 0.90$. Uji coba kondisi ini dilakukan dengan menjalankan beban induktif yakni *electro motor* dan lampu TL secara bergantian dengan menancapkan stekernya ke dalam stop kontak. Setelah itu, sistem *prototype* ini akan membaca, menampilkan serta merekam nilai $\cos\phi$ yang rendah dari *electro motor* dan lampu TL tersebut. Lalu, beberapa detik berikutnya sistem *prototype* ini secara bertahap akan

memperbaiki nilai $\cos\phi$ agar menjadi lebih baik (>0.90) dengan cara *controller* memberikan sinyal kerja kepada *solid state relay* yang terhubung dengan *capacitor bank* untuk menyuntikkan daya reaktif kapasitif kepada sistem. Selain itu, sistem ini dapat menyuntikkan besar kecilnya daya reaktif kapasitif secara otomatis berdasarkan beban induktif yang berbeda antara *electro motor* dan lampu TL. Adapun dalam uji coba menjalankan beban induktif ini, lakukan dengan membiarkan *electro motor* dan lampu TL berjalan selama 30 detik bergantian atau tidak bersamaan, setelah itu matikan beban induktif yang sedang dijalankan dengan mencabut stekernya dari stop kontak. Setelah berhenti, biarkan sistem dalam keadaan tanpa beban selama 10 detik. Kemudian jalankan kembali dengan waktu operasi serta jeda berhenti yang sama sebanyak 7 kali percobaan atau perulangan guna mengetahui keandalan sistem kontrol dan kinerja sensor di dalam melakukan pengukuran.

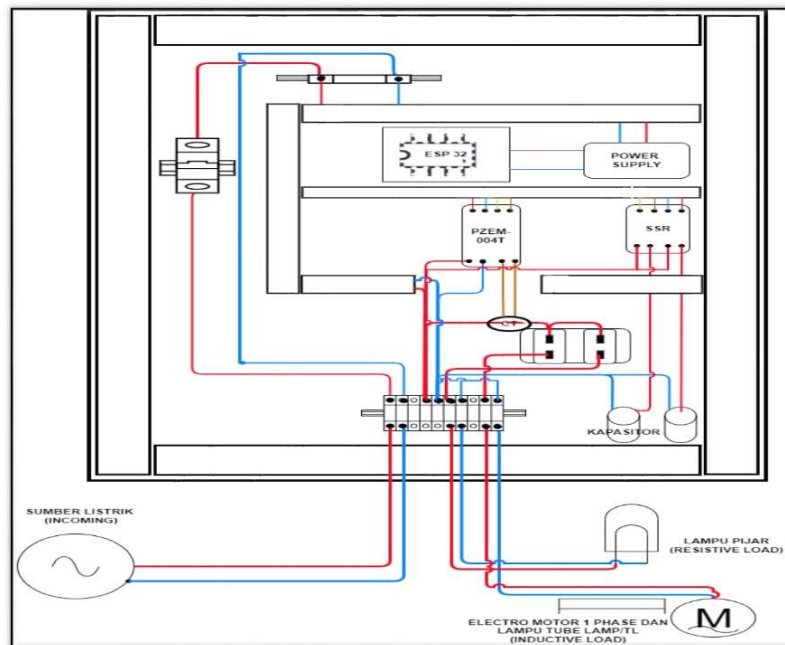
- Pengujian sistem yang kedua yakni dengan keadaan *faktor daya unity* atau nilai faktor daya 0.99-1.00 atau tidak kurang dari 0.90. Pada kondisi ini tidak ada pergeseran antara fasa arus dan tegangan sehingga sistem tidak akan memperbaiki nilai $\cos\phi$ -nya. Hal ini dapat dibuktikan dengan melakukan uji coba dengan menancapkan steker lampu pijar dan mencabut steker beban induktif dari stop kontak. Pada kondisi ini, *solid state relay* tidak akan bekerja, karena tidak mendapat sinyal masukan dari ESP32 dan juga keadaan *output* berupa nilai faktor daya (>0.90) sehingga sudah sesuai dengan nilai referensi pada sistem.

- Pengujian sistem yang ketiga yakni kemampuan sistem dalam mengirim dan merekam data parameter beban listrik atau sebagai *data logger*. Pengujian *online data logger* dilakukan dengan cara menyediakan koneksi internet. Apabila ESP32 sudah terkoneksi dengan internet maka nilai parameter tersebut sudah dapat di *monitoring* dan direkam melalui *Google Spreadsheet*. Kemudian jalankan salah satu beban selama beberapa menit untuk mengetahui kinerja perekaman yang dilakukan melalui internet oleh *Google Spreadsheet*. Sedangkan pengujian *offline data logger* dilakukan dengan mematikan koneksi internet yang sebelumnya tersedia guna mengkondisikan seolah olah dalam keadaan tidak tersedianya sinyal. Saat ESP32 sudah tidak terkoneksi dengan internet, maka perekaman nilai parameter akan dialihkan menggunakan *Micro-SD*. Lalu hasil perekaman data yang dilakukan *Micro-SD* dapat dibuktikan serta diuji dengan memasang *Micro-SD* pada *Cardreader* lalu menghubungkannya dengan PC melalui port USB. Setelah itu kita dapat memastikan data perekaman beban sudah tersimpan di dalam *Micro-SD*.



Gambar 3.5 *Layout Luar Prototype*

Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3.6 *Layout Dalam Prototype*

Sumber : Dokumen Pribadi