BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam sistem kelistrikan, faktor daya merupakan indikator efisiensi penggunaan daya listrik. Faktor daya yang rendah menunjukkan bahwa sebagian daya listrik yang disalurkan tidak digunakan secara efektif untuk melakukan kerja, melainkan menjadi daya reaktif yang menyebabkan kerugian.

Penggunaan beban induktif seperti motor listrik, transformator, dan lampu neon pada industri dan rumah tangga menjadi penyebab utama rendahnya faktor daya. Kondisi ini mengakibatkan peningkatan biaya tagihan listrik, penurunan kapasitas sistem, dan masalah teknis lainnya.

Oleh karena itu, perbaikan faktor daya menjadi solusi penting untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik. Salah satu cara yang efektif adalah dengan menggunakan kapasitor yang dipasang paralel dengan beban induktif. Namun, nilai kapasitansi yang dibutuhkan bervariasi tergantung pada perubahan beban, sehingga diperlukan sistem yang dapat menyesuaikan nilai kapasitansi secara otomatis. Dengan memanfaatkan teknologi Arduino, sistem ini dirancang untuk mengontrol kapasitor otomatis guna memperbaiki faktor daya, sehingga dapat mengurangi rugi-rugi daya dan menurunkan biaya listrik.

Biaya listrik yang mahal sering menjadi beban bagi masyarakat terutama bagi masyarakat dengan perekonomian yang rendah. Pada bidang-bidang industri

yang berkaitan dengan pembangkitan dan penyaluran energi listik sudah tidak asing lagi dengan istilah faktor daya.

Ada beberapa metode dalam perbaikan faktor daya, salah satu diantaranya adalah dengan penambahan kapasitor bank. Nilai kapasitor yang digunakan harus sesuai dengan kebutuhan daya reaktif agar faktor daya yang dikoreksi nilainya semakin baik.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan indentifikasi permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, mendapatkan penyelesaian masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara meningkatkan faktor daya secara otomatis menggunakan sistem berbasis Arduino ?
2. Bagaimana mekanisme kerja sistem penghemat daya listrik dengan perbaikan faktor daya otomatis ?
3. Seberapa efektif sistem ini dalam menghemat konsumsi daya listrik ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan diatas dan hendaknya dapat dicapai dalam pembuatan tugas akhir ini ya itu :

1. Untuk mengetahui rancang dan bangun sistem perbaikan faktor daya otomatis berbasis Arduino.
2. Untuk mengetahui kinerja sistem dalam meningkatkan faktor daya dan mengurangi konsumsi daya listrik.
3. Untuk mengetahui efektivitas sistem dalam menghemat daya listrik secara keseluruhan.

D. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan pada masalah – masalah yanag akan dibahas, maka ada beberapa batasan masalah yang perlu diperhatikan sebagai berikut :

1. Hanya membahas perbaikan faktor daya secara otomatis berbasis arduino.
2. Hanya membahas hasil penelitian berupa spesifikasi teknis alat dan hasil monitoring.
3. Hanya membahas keefektifan mikrokontroler arduino sebagai unit utama pengontrol perbaikan faktor daya.

E. Manfaat Penelitian

Peneliti mempunyai sasaran atau tujuan yang ingin dicapai dalam Penelitian ini antara lain:

1. Mengurangi pemborosan energi listrik akibat faktor daya yang rendah.
2. Menurunkan biaya listrik pada pengguna industri dan rumah tangga.
3. Mengoptimalkan penggunaan energi listrik untuk efisiensi yang lebih baik.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

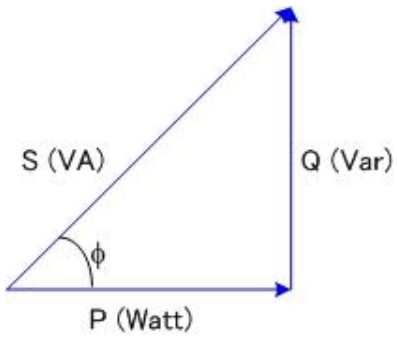
A. Dasar Teori

Dasar Dasar teori yang digunakan pada penelitian ini merupakan pengambilan dari teori – teori terkait, berupa artikel,jurnal, makalah tugas akhir, dan buku yang ada.Adapun pembahasan teori – teori tersebut sebagai berikut :

1. Faktor Daya dan Dampaknya

a. Pengertian Faktor Daya

Faktor daya adalah rasio antara daya aktif (√ daya nyata) dengan daya semu dalam suatu sistem listrik. Faktor daya yang rendah mengakibatkan peningkatan arus listrik yang tidak diperlukan, sehingga meningkatkan rugi-rugi daya pada jaringan listrik**.** Faktor daya (Power Factor, PF) adalah perbandingan antara daya aktif (P) dengan daya semu (S) dalam suatu sistem listrik. Faktor daya menunjukkan efisiensi pemanfaatan daya listrik dalam suatu rangkaian atau instalasi.



Gambar 2.1 Segitiga Daya

Secara matematis, faktor daya dirumuskan sebagai:

$$PF = \cos \theta = P / S$$

di mana: P = Daya aktif (Watt)

S = Daya semu (Volt-Ampere)

θ = Sudut fasa antara tegangan dan arus

Faktor daya bernilai antara 0 hingga 1. Jika PF=1PF = 1PF=1, maka semua daya listrik dikonversi menjadi kerja nyata tanpa pemborosan daya reaktif.

b. Jenis Faktor Daya

Faktor daya dapat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan jenis beban:

1. Faktor daya lagging (tertunda): Arus tertinggal terhadap tegangan, terjadi pada beban induktif seperti motor listrik dan transformator.

2. Faktor daya leading (mendahului): Arus mendahului tegangan, terjadi pada beban kapasitif seperti kapasitor dan kabel panjang.

3. Faktor daya unity (1 atau 100%): Tegangan dan arus berada dalam fase yang sama, terjadi pada beban resistif murni seperti pemanas listrik.

c. Dampak Faktor Daya yang Buruk

Faktor daya yang rendah dapat menyebabkan berbagai masalah dalam sistem tenaga listrik, antara lain:

1. Pemborosan Daya Listrik

- Meningkatkan daya semu yang diperlukan untuk menghasilkan daya aktif yang sama.
- Menyebabkan pemborosan energi karena meningkatnya rugi-rugi pada penghantar.

2. Overloading pada Peralatan Listrik

- Mengurangi kapasitas transformator, generator, dan jaringan transmisi karena beban daya reaktif yang tinggi.

3. Penurunan Tegangan (Voltage Drop)

- Faktor daya yang rendah meningkatkan arus dalam sistem, menyebabkan jatuh tegangan yang lebih besar dan mengurangi efisiensi distribusi daya listrik.

4. Biaya Operasional yang Lebih Tinggi

- Pihak utilitas listrik sering mengenakan penalti pada pelanggan industri dengan faktor daya rendah karena membutuhkan lebih banyak daya semu untuk menyediakan daya aktif.

d. Cara Meningkatkan Faktor Daya

Beberapa metode yang umum digunakan untuk meningkatkan faktor daya adalah:

1. Kompensasi Kapasitif

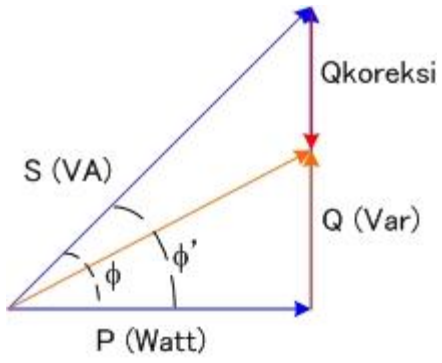
2. Menggunakan kapasitor paralel untuk mengimbangi beban induktif dan mengurangi daya reaktif.

3. Penggunaan Synchronous Condenser Generator sinkron dapat dioperasikan dalam mode over-excited untuk menghasilkan daya reaktif kapasitif.

4. Penggunaan Konverter Daya Elektronik Sistem power factor correction (PFC) berbasis elektronika daya untuk mengontrol aliran daya reaktif.

e. Metode Perbaikan Faktor Daya

Salah satu cara untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan memasang kompensasi kapasitif menggunakan kapasitor pada jaringan tersebut. Kapasitor adalah komponen listrik yang justru menghasilkan daya reaktif pada jaringan dimana dia tersambung. Pada jaringan yang bersifat induktif dengan segitiga daya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1, apabila kapasitor dipasang maka daya reaktif yang harus disediakan oleh sumber akan berkurang sebesar $Q_{koreksi}$ (yang merupakan daya reaktif berasal dari kapasitor). Karena daya aktif tidak berubah sedangkan daya reaktif berkurang, maka dari sudut pandang sumber, segitiga daya yang baru diperoleh; ditunjukkan pada Gambar 2.2 garis oranye. Terlihat bahwa sudut ϕ mengecil akibat pemasangan kapasitor tersebut sehingga faktor daya jaringan akan naik.



Gambar 2.2 Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem tenaga listrik dengan mengurangi daya reaktif yang dikonsumsi oleh beban induktif. Berikut beberapa metode yang umum digunakan:

1. Kompensasi Kapasitif dengan Kapasitor

Prinsip: Menambahkan kapasitor paralel untuk mengimbangi daya reaktif induktif.

- Kapasitor menghasilkan daya reaktif kapasitif yang mengurangi beban reaktif dari sistem.
- Umum digunakan pada sistem industri dengan motor listrik dan transformator.
- Bisa berupa kapasitor tetap atau kapasitor otomatis yang dikendalikan oleh pengontrol daya reaktif.

Keuntungan:

- Sederhana dan ekonomis
- Pemeliharaan rendah
- Efektif untuk beban induktif tetap

2. Penggunaan Synchronous Condenser

Prinsip: Generator sinkron dioperasikan dalam mode over-excited untuk menghasilkan daya reaktif kapasitif.

- Digunakan dalam sistem tenaga skala besar untuk menstabilkan tegangan dan faktor daya.

Keuntungan:

- Dapat disesuaikan dengan kebutuhan daya reaktif
- Meningkatkan stabilitas sistem daya

Kekurangan:

- Biaya tinggi

- Memerlukan perawatan lebih dibandingkan kapasitor

3. Penggunaan Static VAR Compensator (SVC)

Prinsip: Menggunakan sistem berbasis thyristor untuk mengontrol daya reaktif secara otomatis.

- Umumnya digunakan di jaringan transmisi tegangan tinggi dan industri besar.
- Bisa menyesuaikan kompensasi daya reaktif secara dinamis.

Keuntungan:

- Respons cepat terhadap perubahan beban
- Mengurangi fluktuasi tegangan

Kekurangan:

- Mahal dan kompleks
- Membutuhkan pemeliharaan berkala

4. Power Factor Correction (PFC) Elektronik

Prinsip: Menggunakan rangkaian elektronika daya untuk meningkatkan faktor daya pada peralatan listrik.

- Umumnya diterapkan pada peralatan elektronik seperti catu daya switching dan motor listrik modern.
- Menggunakan konverter AC-DC atau filter aktif untuk mengurangi harmonik dan meningkatkan faktor daya.

Keuntungan:

- Meningkatkan faktor daya hingga mendekati 1

- Mengurangi distorsi harmonik

Kekurangan:

- Biaya tinggi untuk implementasi skala besar

5. Pengaturan Operasi Beban

Prinsip: Mengelola waktu operasi beban induktif untuk mengurangi konsumsi daya reaktif secara keseluruhan.

- Contohnya adalah menghindari pengoperasian motor listrik dengan beban rendah dalam waktu lama.
- Beban besar dioperasikan saat faktor daya sistem dalam kondisi optimal.

Keuntungan:

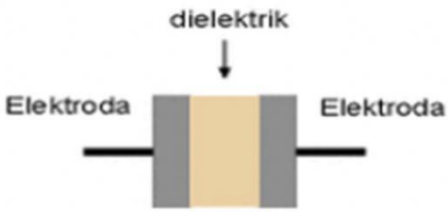
- Tidak memerlukan investasi perangkat tambahan
- Mengoptimalkan efisiensi daya listrik

Kekurangan:

- Kurang fleksibel jika permintaan daya tidak dapat diatur

2. Kapasitor

Kapasitor adalah komponen elektronika yang mempunyai kemampuan menyimpan electron – electron selama waktu yang tidak tertentu, besarnya kapasitansi dari sebuah kapasitor disemukan dalam satuan farad. Pengertian lain kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan dan melepaskan muatan listrik.(Esye & Lesmana, 2021)



Gambar 2.3 Susunan kapasitor

Perhitungan besarnya nilai kapasitor dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Q=C.V$$

Dimana :

Q = muatan electron dalam C (coulumbs).

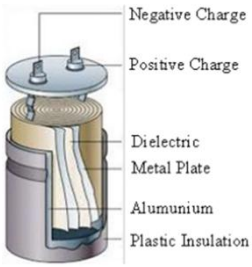
C = nilai kapasitansi dalam F (Farad).

V = besar tegangan dalam V (volt). (Esye & Lesmana, 2021)

Kapasitor terdiri dari dua pelat metal yang dipisahkan satu sama lain dengan bahan isolasi . Sistem penghantar kapasitor terbuat dari lapisan aluminium murni atau semprotan logam. Sistem dielektrik kapasitor dapat dibuat dari:

- Keseluruhan dielektriknya dari kertas (kondesator kertas tissue),
- Lapisan campuran kertas plastik,
- Lapisan plastik dengan cairan perekat yang dipadatkan.

Dalam kondisi lapangan, kapasitor ini di desain Manahan kuat medan berkisar 15V per micron. Rugi dayanya berkisar antara 2,4 – 3,5 watt / kVAr.



Gambar 2.4 Struktur Kapasitor

Pemakaian kapasitor sei dan parallel pada sistem tenaga akan menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, karenanya akan menambah kapasitas sistem dan mengurangi kehilangan energi. Dalam kapasitor seri, daya reaktif berbanding

lurus dengan kuadrat arus beban, sedangkan pada kapasitor parallel, berbanding lurus dengan kuadrat tegangannya.(Somantri, 2017)

1. Efesiensi / Manfaat Dengan Menggunakan Kapaitor Bank.

Manfaat menggunakan kapasitor bank, antara lain.

a. Bagi utilitas penyedia listrik:

- Komponen reaktif pada jaringan dan arus total pada system ujung akhir ke konsumen menjadi berkurang.
- Kehilangan rugi-rugi daya dalam system berkurang karena penurunan arus.
- Kemampuan kapasitas jaringan distribusi listrik meningkat.

b. Bagi perusahaan / industry (bukan pelanggan rumah tangga) dapat mengurangi denda kVARh bila faktor daya (cos phi) rata-rata perbulannya lebih dari 0,85 karena menggunakan kapasitor bank.

c. Kebutuhan daya reaktif akan berkurang karena Sebagian disalurkan oleh kapasitor bank.

d. Arus listrik turun (I) sehingga mengurangi panas pada jaringan

e. Memaksimalkan daya terpasang, sehingga dapat menambah peralatan listrik lainnya.

f. Menghemat biaya pemakaian listrik, jika bebannya sama seperti sebelum dipasang kapasitor bank.

3. Sensor PZEM-004T

a. Pengertian Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur dan memantau parameter-parameter listrik pada sistem kelistrikan. Sensor ini sering digunakan dalam proyek-proyek yang melibatkan monitoring dan pengukuran energi listrik.



Gambar 2.5 *Sensor PZEM-004T*

PZEM-004T memiliki kemampuan untuk mengukur beberapa parameter penting, antara lain:

- Tegangan (*Voltage*), Sensor ini dapat mengukur tegangan listrik AC (Alternating Current) pada rentang tegangan yang ditentukan, biasanya antara 80V hingga 260V.
- Arus (*Current*), Sensor ini dapat mengukur arus listrik AC yang mengalir melalui kawat pengukuran. Rentang pengukuran arus biasanya berkisar antara 0 hingga 100A.
- Daya Aktif (*Active Power*), PZEM-004T juga dapat mengukur daya aktif yang dihasilkan oleh beban listrik pada sistem. Daya aktif dihitung berdasarkan perkalian antara tegangan dan arus pada waktu yang sama.

- Energi (*Energy*), Sensor ini memiliki kemampuan untuk menghitung jumlah energi listrik yang digunakan oleh sistem sejak sensor terpasang atau setelah reset dilakukan. Energi diukur dalam satuan kWh (Kilowatt-hour).

Sensor PZEM-004T biasanya dilengkapi dengan tampilan LCD yang menampilkan parameter-parameter yang diukur secara real-time. Sensor ini juga dilengkapi dengan komunikasi RS485 yang memungkinkan pengguna untuk menghubungkannya ke mikrokontroler atau sistem lainnya untuk pemantauan dan pengolahan data. PZEM-004T sangat berguna dalam berbagai aplikasi, seperti monitoring konsumsi energi, pemantauan beban listrik, sistem pemantauan energi terbarukan, dan proyek-proyek elektronik yang memerlukan pengukuran parameter listrik secara akurat.

b. Spesifikasi Teknis Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM004T memiliki beberapa versi yaitu PZEM004T V2.0, PZEM004T V3.0, dan PZEM004T CT Split Core, dari bebrapa versi tersebut memiliki fungsi dan spesifikasi teknis yang hampir sama.Berikut adalah spesifikasi teknis yang umum dari sensor PZEM004T :

Table 2.1 *Spesifikasi Teknis Sensor PZEM004T*

No	Nama	Deskripsi
1	Tegangan kerja	80 Volt - 260 Volt AC
2	Rated Power	100 A / 22000 Watt
3	Working Frequensi	45 Hz – 65 Hz
4	Measurement Energy	s/d 9999 kWh
5	Komunikasi	RS485 (Modbus RTU)
6	Measurement Accuracy	± 1 %
7	Ukuran board	97 mm x 35 mm
8	Berat	50 - 100 gram

c. Pemograman Sensor PZEM-004T

Modul PZEM-004T sangat mudah untuk digunakan dalam pemrograman dengan menggunakan berbagai jenis board Mikrokontroller seperti Arduino, ESP8266, STM32, WeMos, NodeMCU, Raspberry Pi dll karena menggunakan komunikasi serial TTL.

Perlu diperhatikan bahwa protokol yang digunakan pada PZEM-004T V2.0 dan PZEM-004T V3.0 berbeda maka library dan pemrogramannya pun juga berbeda. Banyak yang mengira modul PZEM-004T nya rusak atau tidak berfungsi hanya karena tidak tahu dan salah menggunakan library yang tidak sesuai.

d. Pinout Sensor PZEM-004T



Gambar 2.6 *Pin Out Sensor PZEM004T*

Berikut adalah penjelasan mengenai beberapa pin yang umumnya terdapat pada sensor PZEM-004T:

- Pin VCC (Voltage Common Collector) digunakan untuk memberikan daya atau tegangan positif ke sensor. Biasanya, tegangan yang diperlukan adalah 5V DC.
- Pin GND (Ground) adalah pin ground atau koneksi tanah untuk sensor. Pin ini harus dihubungkan dengan ground atau koneksi tanah yang sesuai pada sistem yang digunakan.

- Pin TX (Transmit) adalah pin output untuk mentransmisikan data dari sensor PZEM-004T ke perangkat lain, seperti mikrokontroler atau komputer. Pin ini digunakan dalam komunikasi serial, seperti RS485 atau TTL.
- Pin RX (Receive) adalah pin input untuk menerima data dari perangkat eksternal. Pada sensor PZEM-004T, pin RX biasanya tidak digunakan secara langsung, karena komunikasi dilakukan melalui mode half-duplex pada RS485.
- RS485 A/B: Sensor PZEM-004T menggunakan antarmuka RS485 untuk komunikasi. Pada beberapa varian sensor, terdapat pin RS485 A dan RS485 B yang digunakan untuk menghubungkan kabel RS485 ke sensor. Kedua pin ini terhubung ke jalur komunikasi RS485.
- Konektor Pengukuran: Sensor PZEM-004T memiliki konektor pengukuran yang terdiri dari beberapa pin atau terminal. Pin ini digunakan untuk menghubungkan kabel pengukuran tegangan dan arus yang akan diukur oleh sensor.

Adapun deskripsi fungsi dari PZEM-004T-100A yang digunakan antara lain;

a. Voltage

   1. Pengukuran : 80VAC hingga 260VAC
   2. Resolution : 0.1VAC
   3. Keakuratan pengukuran : ± 0.5%

b. Arus

   1. Pengukuran : 0 ~ 100A
   2. Mulai pengukuran : 0.02A
   3. Resolution : 0.001A
   4. Keakuratan pengukuran : 0.5%

c. Daya (watt)

   1. Pengukuran : 0 ~ 23 Kw

2. Mulai pengukuran daya : 0.4 W

3. Resolution : 0.1 W

4. Keakuratan pengukuran : 0.5%

d. Power Factor

1. Pengukuran : 0.00 ~ 1.00

2. Resolution : 0.01

3. Keakuratan pengukuran : 1%

e. Frekuensi

1. Pengukuran : 45Hz ~ 65Hz

2. Resolution : 0.1Hz

3. Keakuratan pengukuran : 0.5%

f. Daya Aktif (Wh)

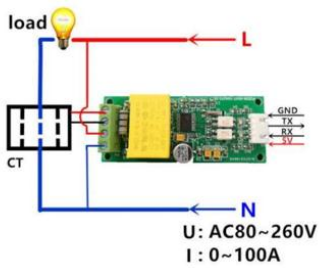
1. Pengukuran : 0 ~ 9999.99kWh

2. Resolution : 1 Wh

3. Keakuratan pengukuran : 0.5%

Protokol komunikasi yang digunakan adalah RS485 interface dengan baudrate 9600. Bekerja pada temperature -20’C ~ +60’C.

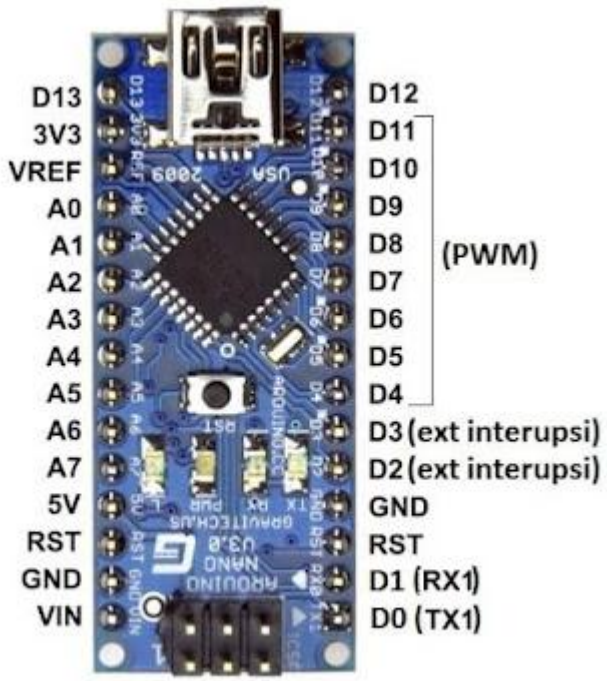
Adapun wiring diagaram PZEM-004T-100Asebagai berikut;



Gambar 2.7 Wiring diagram PZEM-004T-100A

4. Arduino Nano

Ardiuno Nano merupakan sebuah papan rangkaian berukuran kecil dan terintegrasi yang di dalamnya sudah tersedia IC mikrokontroler dan peripheralnya. Arduino Nano clone dirancang dan dibuat oleh perusahaan Gravitech menggunakan basis mikrokontroler ATMega328 (untuk Arduino Nano V3) atau ATMega168 (untuk Arduino Nano V2). *Arduino Nano* telah mendukung kompatibilitas dengan breadboard sehingga memudahkan kita dalam melakukan rancangan rangkaian elektronika kendali menjadi sebuah prototype.



Gambar 2.8 Ardiuno Nano

Fungsi Arduino Nano

1. Sebagai alat kendali yang bisa diprogram secara mudah dan cepat

2. Sebagai alat kendali dengan biaya paling minimal dan hasilnya paling maksimal

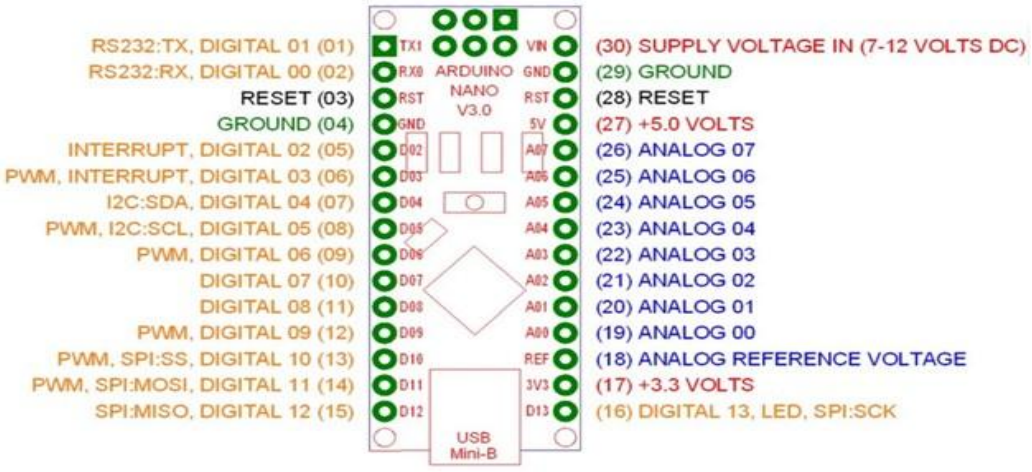
3. Spesifikasi *Arduino Nano*

Tabel 2.2 Data mikrokontroller Arduino Nano

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	Atmel ATmega168 atau ATmega328
Tegangan Operasi	5V
Input Voltage (disarankan)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Pin Digital I/O	14 (6 pin digunakan sebagai output PWM)
Pins Input Analog	8
Arus DC per pin I/O	40 mA
Flash Memory	16KB (ATmega168) atau 32KB (ATmega328) 2KB digunakan oleh Bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) atau 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 byte (ATmega168) atau 1KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Ukuran	1.85 cm x 4.3 cm

4. Driver Arduino Nano Clone

Arduino clone menggunakan chip 340 sebagai interface yang menghubungkan antara board dengan komputer. Oleh karena itu, dibutuhkan driver yang menjembatani agar board *Arduino Nano* clone bisa dikenali komputer.



Gambar 2.9 Pinout (kaki) Arduino Nano

Tabel 2.3 Pinout *Arduino Nano* beserta Fungsinya

Fungsi Pin	Nama Pin	Penjelasan
Power	Vin, 3.3V, 5V, GND	Vin: Tegangan In dari ekternal power (6 ~ 12V) untuk menyalakan Arduino. 5V: Tegangan In teregulasi 5V untuk menyalakan Arduino Nano. 3.3V: Tegangan 3.3V teregulasi dari internal Arduino Nano untuk peripheral. Arus maks 50mA. GND: Ground pin.
Reset	Reset	Mereset Arduino.
Analog In	A0 – A7	Digunakan untuk Input Analog, dimana Arduino membaca perubahan Volt (tegangan) antara 0-5V di pin ini
In/Out	Digital Pin D0 - D13	Digunakan sebagai Input / Output, dimana Arduino membaca perubahan status 0V (low) and 5V (high)
Serial	Rx, Tx	Dipakai untuk Rx (menerima) dan Tx (mengirim) TTL serial data.
External Interrupts	2, 3	Untuk memicu interrupt eksternal.
PWM	3, 5, 6, 9, 11	Layanan 8-bit PWM output.
SPI	10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) and 13 (SCK)	Digunakan untuk komunikasi SPI.
LED built-in	13	Menyalakan LED Arduino Nano.
IIC	A4 (SDA), A5 (SCA)	Komunikasi TWI

Fungsi Pinout Input dan Output Arduino Nano

Arduino Nano layaknya komputer, bekerja berdasarkan input proses dan output. Total ada 14 pin digital dan 8 pin analog di papan *Arduino Nano*. Pin digital bisa dipakai untuk menghubungkan sensor dengan menggunakannya sebagai pin input atau menggerakkan beban dengan menggunakannya sebagai pin output. Fungsi programnya cukup sederhana hanya memanggil pinMode() dan digitalWrite() untuk mengontrol operasinya. Tegangan operasi pin digital yaitu 0V dan 5V atau LOW dan HIGH. Pin analog bisa mengukur tegangan analog dari 0V hingga 5V menggunakan salah satu dari 8 pin analog menggunakan fungsi pemrograman analogRead().

Berikut beberapa fungsi pin lainnya yang bisa dipakai untuk keperluan khusus, antara lain:

1. Pin Serial 0 (Rx) dan 1 (Tx): Pin Rx dan Tx digunakan untuk menerima dan mengirimkan data serial TTL. Mereka terhubung dengan chip serial ATMega328P USB ke TTL yang sesuai.

2. Pin Interupsi Eksternal 2 dan 3: Pin ini bisa dikonfigurasi untuk memicu interupsi pada nilai rendah, merangkak naik atau turun dan atau perubahan nilai.

3. Pin PWM 3, 5, 6, 9 dan 11: Pin ini memberikan output PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi analogWrite().

4. Pin SPI 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) dan 13 (SCK): Pin ini digunakan untuk komunikasi SPI.

5. Pin 13 LED bawaan: Pin ini terhubung dengan LED bawaan. Saat pin 13 HIGH – LED menyala dan saat pin 13 LOW akan mati.

6. I2C A4 (SDA) dan A5 (SCA): Pin ini digunakan untuk komunikasi I2C menggunakan Wire library.

7. AREF: Pin ini digunakan untuk memberikan tegangan referensi untuk input analog dengan fungsi analogReference().

8. Reset Pin: Pin ini digunakan untuk mereset mikrokontroler, sehingga membuat pin ini LOW.

Kelebihan Arduino Nano

Beberapa kelebihan yang dimiliki Arduino Nano yaitu :

- Dimensi Arduino Nano kecil
- Menggunakan USB mini
- Jumlah pin input analog yang lebih banyak dari jenis Uno
- Harga yang murah

Kekurangan Arduino Nano

Kekurangan dari Arduino Nano antara lain:

- Membutuhkan *breadboard* untuk mengoneksikan pinnya
- Jumlah kapasitas memori yang kecil
- Tak dilengkapi port untuk colokan DC

5. Modul Relay

a. Pengertian Modul Relay

Modul *relay* adalah salah satu piranti yang beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontaktor guna memindahkan posisi *On* ke *Off* atau sebaliknya dengan memanfaatkan tenaga listrik. Peristiwa tertutup dan terbukanya kontaktor ini terjadi akibat adanya efek induksi magnet yang timbul dari kumparan induksi listrik, perbedaan yang paling mendasar antara *relay* dan sakelar adalah pada saat pemindahan dari posisi *On* ke *Off*. Relay melakukan pemindahan-nya secara otomatis dengan arus listrik, sedangkan sakelar dilakukan dengan cara manual.



Gambar 2.10 Modul Relay

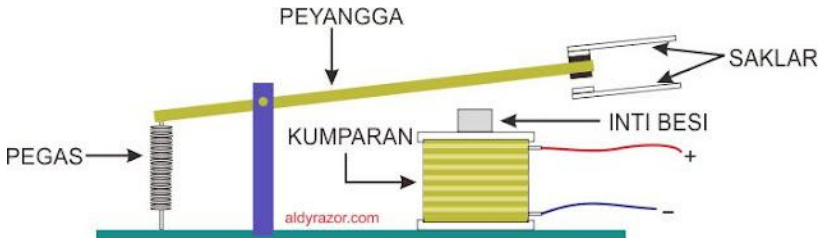
b. Fungsi Modul Relay

Pada dasarnya, fungsi modul *relay* adalah sebagai saklar elektrik, dimana *relay* akan bekerja secara otomatis berdasarkan perintah logika yang diberikan. Kebanyakan, *relay* 5 volt DC, digunakan untuk membuat *project* yang salah satu komponennya butuh tegangan tinggi atau yang sifatnya AC (*Alternating Current*). Sedangkan kegunaan *relay* secara lebih spesifik adalah sebagai berikut:

- Menjalankan fungsi logika dari mikrokontroler, seperti Arduino
- Sarana untuk mengendalikan tegangan tinggi hanya dengan menggunakan tegangan rendah
- Meminimalkan terjadinya penurunan tegangan
- Memungkinkan penggunaan fungsi penundaan waktu atau fungsi *time delay function*
- Melindungi komponen lainnya dari kelebihan tegangan penyebab *korsleting*.
- Menyederhanakan rangkaian agar lebih ringkas.

c. Cara Kerja Modul Relay

Beberapa komponen inti pada *Relay* seperti Penyangga (*Armature*), Kumparan (*Coil*), Pegas (*Spring*), Saklar (*Switch Contact*), dan Inti Besi (*Iron Core*). Adapun untuk penempatannya seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.11 *Struktur Modul Relay*

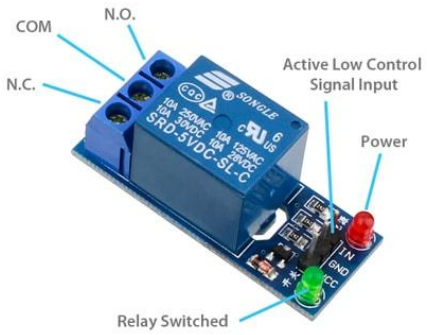
Berdasarkan gambar komponen *relay* tersebut, kita dapat memahami bahwa relay dapat bekerja karena adanya gaya elektromagnetik. Hal ini tercipta dari inti besi yang dililitkan kawat kumparan dan dialiri aliran listrik. Saat kumparan dialiri listrik, maka otomatis inti besi akan jadi magnet dan menarik penyangga sehingga kondisi yang awalnya tertutup jadi terbuka (*Open*).

Sementara pada saat kumparan tak lagi dialiri listrik, maka pegas akan menarik ujung penyangga dan menyebabkan kondisi yang awalnya terbuka jadi tertutup (*Close*).

Secara umum kondisi atau posisi pada *relay* terbagi menjadi dua,yaitu:

- **NC (*Normally Close*)**, adalah kondisi awal atau kondisi dimana *relay* dalam posisi tertutup karena tak menerima arus listrik.
- **NO (*Normally Open*)**, adalah kondisi dimana *relay* dalam posisi terbuka karena menerima arus listrik.

d. Skema Modul Relay



Gambar 2.12 *Skema Kerja Modul Relay*

Berdasarkan gambar skematik *relay* di atas, berikut ini adalah keterangan dari ketiga pin yang sangat perlu kamu ketahui:

- **COM (*Common*),** adalah pin yang wajib dihubungkan pada salah satu dari dua ujung kabel yang hendak digunakan.
- **NO (*Normally Open*),** adalah pin tempat menghubungkan kabel yang satunya lagi bila menginginkan kondisi posisi awal yang terbuka atau arus listrik terputus.
- **NC (*Normally Close*),** adalah pin tempat menghubungkan kabel yang satunya lagi bila menginginkan kondisi posisi awal yang tertutup atau arus listrik tersambung.

6. Push Button

Push button switch (saklar tombol tekan) adalah perangkat /saklar sederhan yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus Listrik dengan sistem kerja tekan unlock (tidak mengunci). Sistem kerja unlock disini berarti saklar akan bekerja sebagai device penghubung atau pemutus aliran arus Listrik saat tombol ditekan, dan saat tombol tidak ditekan (dilepas), maka saklar akan Kembali pada posisi normal.

Sebagai device penghubung atau pemutus, push button switch hanya memiliki 2 kondisi, yaitu On dan Of (1 dan 0). Istilah On dan Of ini menjadi sangat penting karena semua perangkat lsitrik yang memerlukan sumber energi Listrik pasti

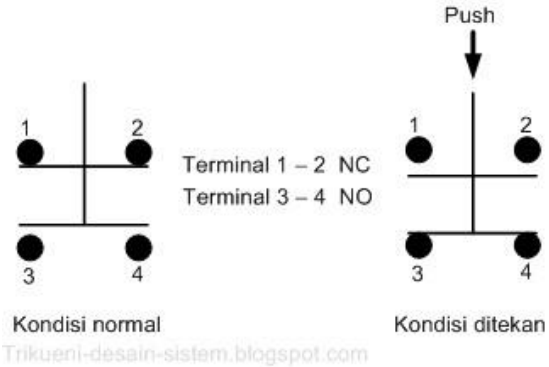
membutuhkan kondisi On dan Of. (Akhmad Rizani, 2019)



Gambar 2.13 Push Button

1. Prinsip Kerja Push Button

   Apabila dalam keadaan normal tidak ditekan maka kontak tidak akan berubah, apabila ditekan maka kontak NC akan berfungsi sebagai stop dan kontak NO akan berfungsi sebagai start, biasanya digunakan pada sistem pengontrolan motor-motor induksi untuk menjalan mematikan motor pada industi-industri.

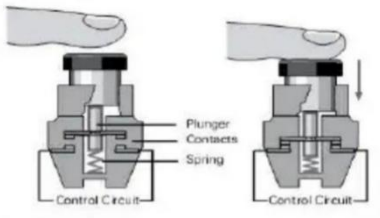


Gambar 2.14 Prinsip Kerja Push Button

2. Jenis-Jenis Push Button

   a. Normally Open(NO)

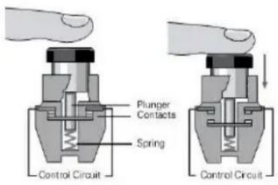
      Tombol ini disebut juga dengan tombol start karena kontak akan menutup bila ditekan dan Kembali terbuka bila dilepaskan.bila tombol ditekan maka kontak bergerak akan menyentuh kontak tetap sehingga arus Listrik akan mengalir.



Gambar 2.15 Push Button (NO)

b. Normally Close(NC)

Tombol ini disebut juga dengan tombol stop karena kontak akan membuka bila ditekan dan Kembali tertutup bila dilepskan. Kontak bergerak akan lepas dari kontak tetap sehingga arus Listrik akan terputus.



c. NC dan NO

Tipe ini kontak memiliki 4 buah terminal baut,sehingga bila tombol tidak ditekan maka sepasang kontak akan NC dan kontak lain NO, bila tombol ditekan maka kontak tertutup akan membuka dan kontak yang membuka akan tertutup.

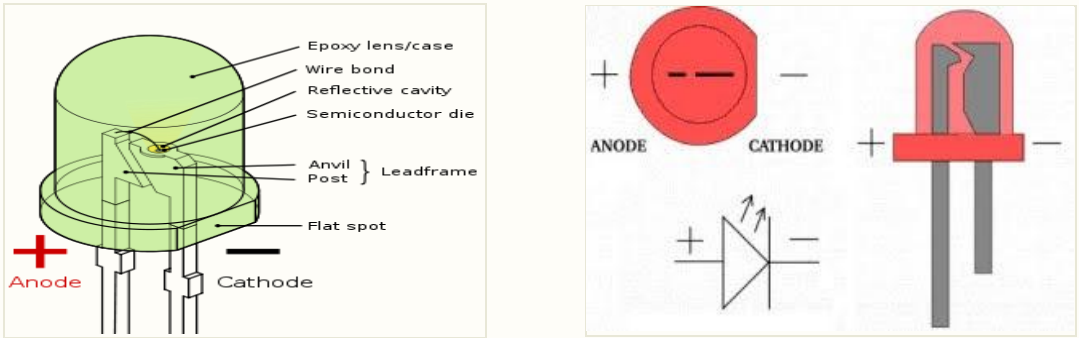
3. Specification Push Button

Tabel 2.4 Spesifikasi Push Button

Item	Specification	Unit	Note
Operating Temperature Range	-20~+70	℃	
Storage Temperature Range	-40~+85	℃	
Type of Operation	Tactile Feedback		
Circuit Configuration	Push-On Momentary, 1 pole-1 throw		
Power Rating	MAX 50mA 24VDC		
Contact Resistance	MAX 100	mΩ	
Insulation Resistance	100MΩ Min. at 100VDC		
Dielectric Withstanding Voltage	250VAC for 1 minute		
Contact Bounce	MAX 5	ms	
Operating Force	0.98±0.49	N	A type
	1.57±0.49	N	B type
Return Force	MIN 0.10	N	A type
	MIN 0.49	N	B type
Travel	0.25 +0.2/-0.1	mm	

7. LED atau singkatan dari *Light Emitting*

LED atau singkatan dari *Light Emitting Diode* adalah salah satu komponen elektronika yang terbuat dari bahan semi konduktor jenis dioda yang mempu mengeluarkan cahaya. Strukturnya juga sama dengan dioda, tetapi pada LED elektron menerjang sambungan P-N (Positif-Negatif). Untuk mendapatkan emisi cahaya pada semikonduktor, doping yang pakai adalah galium, arsenic dan phosporus. Jenis doping yang berbeda menghasilkan warna cahaya yang berbeda pula.



Gambar 2.17 LED

LED memiliki dua kaki yang terbuat dari sejenis kawat. Kawat yang panjang adalah anoda, sedangkan kawat yang pendek adalah katoda. Coba perhatikan bagian dalam LED, akan terlihat berbeda antara kiri dan kanannya. Yang ukurannya lebih besar adalah katoda, atau yang mempunyai panjang sisi atas yang lebih besar adalah katoda.

Anoda adalah elektroda, bisa berupa logam maupun penghantar listrik lainnya pada sel elektrokimia yang terpolarisasi jika arus mengalir ke dalamnya. Arus listrik mengalir berlawanan dengan arah pergerakan elektron.

Katoda merupakan kebalikan dari anoda. Katoda adalah elektroda dalam sel elektrokimia yang terpolarisasi jika arus listrik mengalir keluar darinya.

Cara Kerja LED

Dalam hal ini LED akan menyala bila ada arus listrik mengalir dari anoda ke katoda. Pemasangan kutub LED tidak boleh terebalik karena apabila terbalik kutubnya maka LED tersebut tidak akan menyala. Led memiliki karakteristik berbeda-beda menurut warna yang dihasilkan. Semakin tinggi arus yang mengalir pada LED maka semakin terang pula cahaya yang dihasilkan, namun perlu diperhatikan bahwa besarnya arus yang diperbolehkan adalah 10mA-20mA dan pada tegangan 1,6V – 3,5 V menurut karakter warna yang dihasilkan. Apabila arus yang mengalir lebih dari 20mA maka LED akan terbakar. Untuk menjaga agar LED tidak terbakar perlu kita gunakan resistor sebagai penghambat arus.

Klasifikasi tegangan LED menurut warna yang dihasilkan:

Tegangan kerja / jatuh tegangan pada sebuah menurut warna yang dihasilkan:

1. Infra merah : 1,6 V
2. Merah : 1,8 V – 2,1 V
3. Oranye : 2,2 V
4. Kuning : 2,4 V
5. Hijau : 2,6 V
6. Biru : 3,0 V – 3,5 V

7. Putih : 3,0 – 3,6 V
8. Ultraviolet : 3,5 V

8. LCD (*Liquid Crystal Display*)

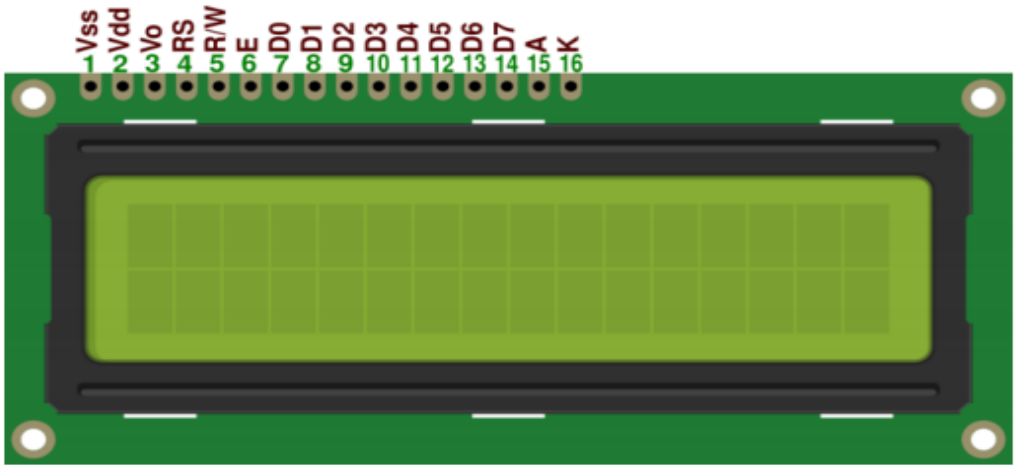
LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama.Adapun fitur yang disajikan dalam LCD ini adalah:

- Terdiri dari 16 karakter dan 2 baris.
- Mempunyai 192 karakter tersimpan.
- Terdapat karakter generator terprogram.
- Dapat dialamati dengan mode 4-bit dan 8-bit.
- Dilengkapi dengan back light.

Proses inisialisasi pin arduino yang terhubung ke pin LCD RS, *Enable*, D4, D5, D6, dan D7, dilakukan dalam baris LiquidCrystal (2, 3, 4, 5, 6,7), dimana lcd merupakan variable yang dipanggil setiap kali intruksi terkait LCD akan digunakan. Definisi pin lcd 16x2 dapat dilihat ditabel 2.2 dan gambar 2.8 adalah *device* LCD.

Tabel 2.5 Spesifikasi LCD 16x2

Pin	Diskripsi
1	*Ground*
2	Vcc
3	Pengatur Kontras
4	Register Select
5	*Read / Write* LCD Register
6	*Enable*
7-14	Data I / O Pins
15	VCC + LED
16	*Ground* – LED



Gambar 2.18 LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2

Pada Proyek Akhir ini LCD dapat menampilkan karakternya dengan menggunakan library yang bernama LiquidCrystal. Berikut ada beberapa fungsi-fungsi dari library LCD

1. begin()

Untuk begin() digunakan dalam inisialisasi interface ke LCD dan mendefinisikan ukuran kolom dan baris LCD. Pemanggilan begin() harus dilakukan terlebih dahulu sebelum memanggil instruksi lain dalam library LCD. Untuk *syntax* penulisan instruksi begin() ialah sebagai berikut. lcd.begin(cols,rows) dengan lcd ialah nama variable, cols jumlah kolom LCD, dan rows jumlah baris LCD.

2. clear()

Instruksi clear() digunakan untuk membersihkan pesan text. Sehingga tidak ada tulisan yang ditapilkan pada LCD.

3. set Cursor()

Instruksi ini digunakan untuk memposisikan cursor awal pesan text di LCD. Penulisan *syntax* setCursor() ialah sebagai berikut. lcd.setCursor(col,row) dengan lcd ialah nama variable, col kolom LCD, dan row baris LCD.

4. print()

Sesuai dengan namanya, instruksi print() ini digunakan untuk mencetak, menampilkan pesan text di LCD. Penulisan syntax print() ialah sebagai berikut.lcd.print(data) dengan lcd ialah nama variable, data ialah pesan yang ingin ditampilkan

B. Kajian Terdahulu

Pada penelitian kali ini, peneliti mendapat *referensi* dari beberapa peneliti yang terdahulu yang mengunakan system yang hampir sama. Adapun kajian terdahulu sebagai berikut ;

Penelitian yang dilakukan oleh Nanda Fartino , Tarmizi , Mahdi Syukri (2020) yang berjudul **"Kajian Perancangan Alat Perbaikan Faktor Daya Otomatis"** pada penelitian tersebut proses yang digunakan menjadi input dari sistem adalah sensor tegangan, arus, dan cospi, nilai dari ketiga input ini selanjutnya akan dikalkulasikan untuk menentukan nilai daya aktif, reaktif, dan semu. Selanjutnya sistem akan mengirimkan informasi untuk ditampilkan pada LCD yang berada pada sisi output dan menentukan berapa kebutuhan kapasitor yang harus dihubungkan menggunakan relay ke sistem agar nilai daya reaktif berkurang saat beban induktif. Adapun program utama yang digunakan dalam perancangan sistem ini dibagi menjadi empat bagian yaitu:

 Program pembacaan tegangan

 Program pembacaan Arus

 Program pembacaan Cospi dengan memanfaatkan zero crossing circuit

 Program swtich relay berdasarkan daya reaktif

Penelitian yang dilakukan oleh Raja Harahap, Yacub Merlin Lumban Toruan (2023) yang berjudul **"Rancang Bangun Kapasitor Bank Otomatis Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Arduino Uno"** Pada penelitian ini penulis melakukan pengujian terhadap sistem perbaikan faktor daya pada motor induksi tiga fasa. Dalam pengujian ini penulis menggunakan beban induktif, penulis akan menguji kinerja sistem perbaikan faktor daya otomatis dalam meningkatkan faktor daya pada motor induksi. Pengujian sistem dilakukan setelah alat perbaikan faktor daya motor induksi telah terkonfigurasi secara sistematis, pengujian ini dilakukan untuk kebutuhan analisa data dan juga untuk melihat kinerja dari sistem perbaikan faktor daya motor induksi ini, penulis melakukan pengujian pada motor induksi 1,5 kW. Pada penelitian ini, peneliti akan merancang desain rangkaian sistem perbaikan faktor daya otomatis ini menggunakan beberapa sensor sebagai output sistem yaitu sensor tegangan dan sensor arus, out pusat pada sistem ini akan ditampilkan melalui LCD 16x2. Kapasitor bank pada penelitian ini digunakan untuk memberikan beban kapasitif pada motor induksi sehingga dapat memperbaiki faktor daya agar tidak berada di bawah standar cos phi PLN. Standar cos phi PLN berada di angka 0.85, bedasarkan spesifikasi motor induksi yang digunakan, toleransi cosphi yang ditawarkan adalah 0,79 hingga 0.85

Penelitian yang hampir serupa pernah dilakukan pada tahun 2021 oleh Amelia Bustazar Rahmi dengan judul **"Rancang Bangun Kapasitor Bank Otomatis Untuk**

Kendali Kelistrikan Pada Daihatsu TaftRanger 4x4“, penelitian ini berfokus dengan adanya kapasitor bank otomatis yang diaplikasikan pada kendaraan roda empat Daihatsu Taft Ranger 4x4 diharapkan dapat meminimalisir terjadinya tegangan jatuh pada baterai.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Pada penelitian ini dimulai dari mengidentifikasi masalah dengan mencari studi literatur dan referensi yang terdahulu. Ada pun tahapan yang akan dilakukan rancang, bangun, pengembangan sistem, pengujian dan menarik kesimpulan dan saran penelitian. Dalam melakukan penelitian ini, jenis penelitian yang akan digunakan adalah jenis penelitian kuantitatif.

B. Lokasi dan Waktu

Studi ini dilakukan di Kantor PLN ULP Sinjai dan waktu pelaksanaan studi ini dilakukan selama 2 bulan dimulai pada bulan Maret 2025 sampai Mei 2025.

C. Alat dan Bahan

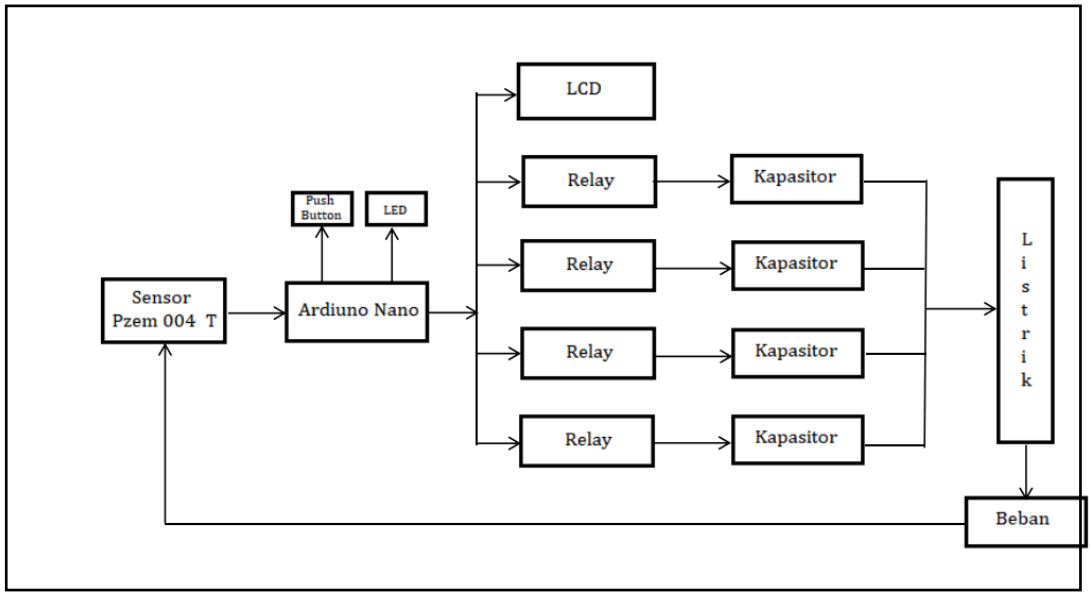
Adapun alat dan bahan yang dipakai dalam melaksanakan studi ini ialah yakni:

Table 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

NO	URAIAN	Jumlah
1	Mikrokontoler Arduino Nano	1
2	Modul Relay	4
3	Sensor PZEM-004T	1
4	Kapasitor	4
5	LCD 16 x 2	1
6	Motor Listrik & Beban Lainnya	1
7	Push Button	1
8	LED Indikator	1

D. Rancangan Penelitian

Pada Penelitan ini akan membahas perancangan dari mulai input sistem, mikrokontroler yang digunakan ialah arduino uno, dan output sistem 8 channel, relay dan kapasitor bank. Blok diagram sistem ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem

Input sistem pada sistem ini ialah sensor Pzem 004 T yang berfungsi untuk membaca besar tegangan, kuat arus, frekuensi, power faktor dan energi aktif proses pada sistem ini yaitu mikrokontroler arduino uno yang berfungsi untuk mengatur argoritma pada sistem. Output pada sistem ini yaitu lcd 16x2 untuk menampilkan status kerja sistem atau berupa media tatap muka antara sistem dan pengguna, output lainnya yaitu 8 buah relay yang berfungsi sebagai switcing ada variasi kapasitor, serta tedapat objek yaitu motor induksi dan listrik. Sensor Pzem 004 T akan mengirimka hasil pembacaan tegangan, kuat arus, frekuensi, power faktor dan energi aktif pada motor induksi yang sedang beroperasi, mikrokontroler arduino uno akan memerintahkan lcd 16x2 untuk menampilkan kondisi pada sistem dan relay untuk aktif sesuai dengan parameter kebutuhan pada sistem.

Adapun 2 (dua) unsur utama yakni perangkat keras (*hardware*) serta perangkat lunak (*software*) sebagai berikut :

1. Rancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

a. Sensor PZEM - 004T, sensor yang bertugas mengukur besar tegangan, kuat arus, frekuensi, power faktor dan energi aktif yang terdapat pada aliran listrik pada beban motor

b. Mikrokontoler Arduino Nano berfungsi mengelola, menerima dan mengirim data yang diterima dari Sensor PZEM-004T

c. LCD 16x2 untuk menampilkan status kerja sistem

d. Modul Relay sebagai media memutus dan menyambungkan aliran listrik ke variasi kapasitor secara tidak langsung

e. Push Button & Led Indikator sebagai sistem yang akan bekerja dan menandai beban akan menerima atau memerlukan perbaikan power faktor dari kapasitor yang akan bekerja

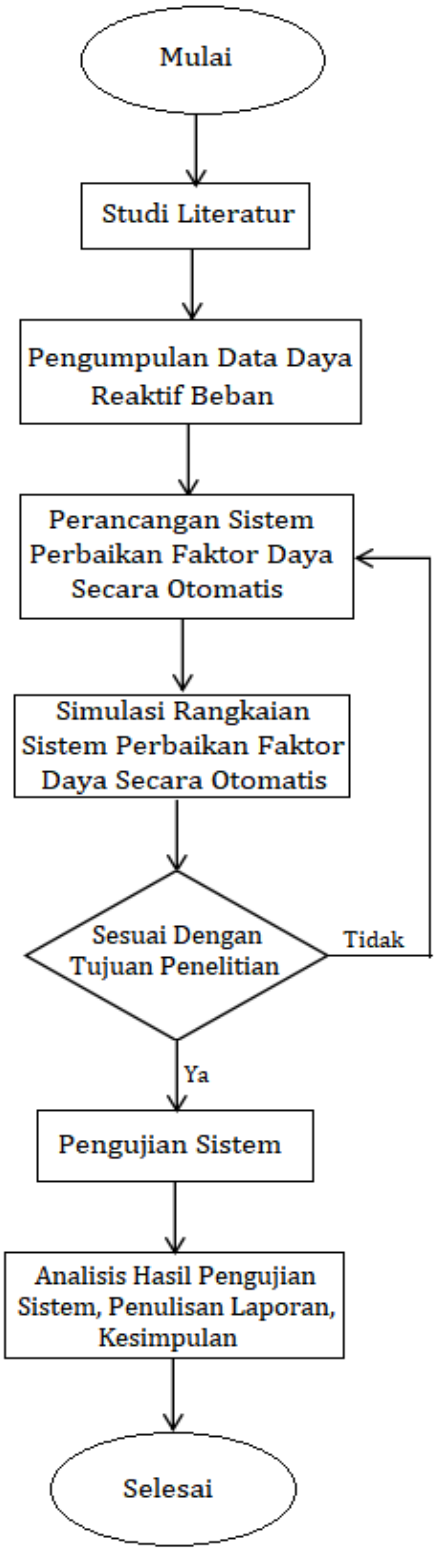
f. Kapasitor yang akan terpasang memiliki nilai berbeda - beda agar beban dapat memilih otomatis berdasarkan nilai kapasitor yang diperlukan

2. Rancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Adapun perangkat lunak atau software yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah Arduino IDE Merupakan sebuah software untuk memprogram Arduino. Pada software inilah Arduino dilakukan pemograman untuk melakukan perintah atau fungsi fungsi yang diterapkan melalui sintaks pemograman. Pemograman ini menggunakan bahasa pemograman C.

E. Teknik Pengumpulan Data

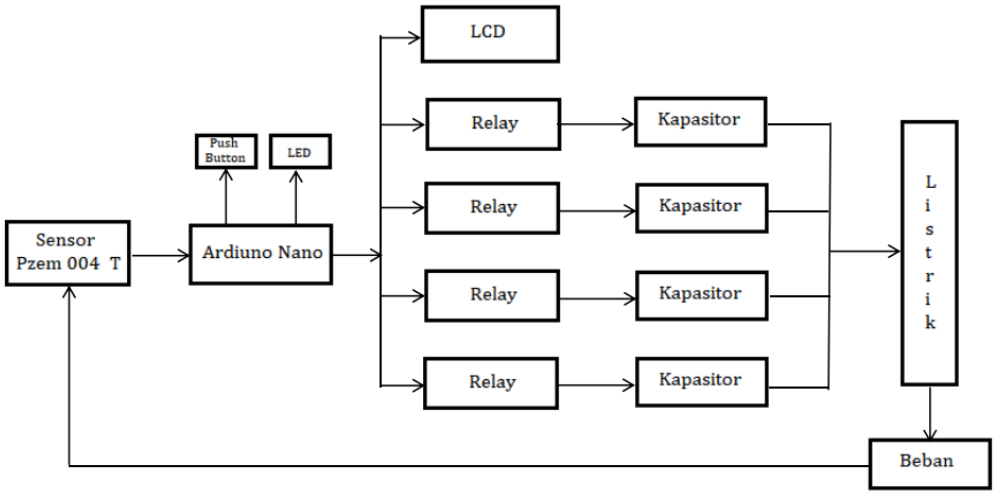
Teknik Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan pertama dilakukan melalui studi literatur, tahapan ini dilakukan untuk memahami konsep dasar system keberhasilan arduino uno dalam memerintahkan sensor PZEM-004T dalam mengukur besar tegangan, kuat arus, frekuensi, power faktor dan energi aktif pada beberapa referensi jurnal dan artikel. Tahapan kedua keberhasilan arduino uno dalam mengolah data hasil pembacaan sensor PZEM-004T, Tahapan ketiga dilakukan untuk menguji kemampuan komunikasi arduino uno dalam memerintahan relay sehingga dapat memberikan beban kapasitif pada sistem perbaikan faktor daya motor induksi.



Gambar 3.2 Skema Prosedur Penelitian

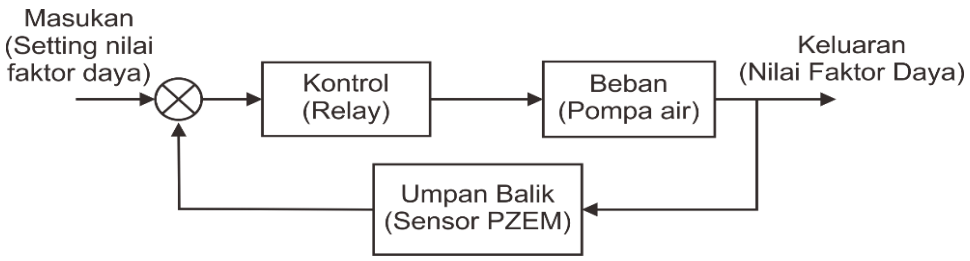
F. Kerangka Pikir

Proses pembuatan hardware sistem kontrol perbaikan faktor daya dilakukan dengan menentukan komponen elektrik yang akan digunakan seperti kapasitor *bank*, sensor, *relay*, Arduino Nano. Perancangan ini mengacu pada diagram blok yang dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini :



Gambar 3. 3 Kerangka Pikir

Perancangan sistem kontrol pada alat perbaikan factor daya ini menggunakan sistem *closed loop* dimana keluaran hasil yang dibaca oleh sensor PZEM akan dibandingkan dengan nilai yang diinginkan. Pada proyek akhir ini percobaan menggunakan 4 buah kapasitor dimana sistem kontrol akan menentukan kapasitor mana yang akan digunakan pada saat dibutuhkan, Ketika pompa air bekerja pada beban penuh maka faktor daya lebih besar dibandingkan nilai factor daya pompa air tanpa beban. Sistem *closed loop* ini dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 4 Sistem *Closed Loop* pompa air

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab pembahasan ini menguraikan proses pengerjaan proyek akhir ini berdasarkan metode yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya. Secara umum bab ini menguraikan tentang:

A. Pengumpulan dan pengolahan data motor listrik

Untuk menentukan berapa nilai kapasitor yang dibutuhkan, diperlukan pengukuran pada beban pompa air yang faktor daya ingin ditingkatkan, pengukuran ini menggunakan *Power Meter Digital*, parameter yang diukur pada sensor ini antar lain pengukuran nilai tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, daya semu, faktor daya dan juga besar nilai tahanan, parameter tersebutlah yang dapat mempengaruhi perubahan nilai faktor daya pada beban tersebut. Hasil pengukuran yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data pengukuran beban motor

Beban Motor	Ps (VA)	Pn (Watt)	Pr (VAR)	Pf	Is (A)
Motor 1	87	23	84	0,26	0,37
Motor 2	201	140	145	0,69	0,86
Motor 3	379	201	321	0,53	1,63

Untuk menentukan berapa nilai kapasitor yang dibutuhkan pada beban pompa air, maka harus dilakukan perhitungan untuk menentukan berapa besar nilai kapasitor yang dibutuhkan sesuai dengan faktor daya dari beban tersebut proses ini dilakukan secara otomatis di Arduino. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1. Berikut perhitungan penentuan nilai kapasitor pada beban pompa air :

Untuk menentukan nilai faktor daya yang diinginkan, maka perlu diketahui Impedansi kapasitif **(**Xc) (Ω) dan nilai Kapasitor yang akan digunakan :

Perhitungan pada beban Motor, yaitu :

Rumus:

- $Pr = \frac{V^2}{X\,c} \quad \rightarrow \quad X\,c = \frac{V^2}{P\,r}$
- $X\,c = \frac{1}{\omega\,\mathbf{C}} \quad \rightarrow \quad X\,c = \frac{1}{2\,\pi\,\mathrm{F}\,\mathrm{C}} \quad \rightarrow \quad C = \frac{1}{2\,\pi\,\mathrm{F}\,\mathrm{Xc}}$

Motor 1 :

- Cos φ 1 = 0.26 ⟹ φ 1 = arccos (0.26) ≈ 74.92∘

Untuk mengetahui nilai Kapasitor yang akan digunakan, maka terlebih dahulu perlu diketahui **(Xc) (Ω)** yaitu:

Konstanta:

- π ≈ 3.14159
- F = 50 Hz
- V = 233 Volt

Penyelesaian :

- $X\,c = \frac{V^2}{P\,r} \rightarrow \frac{(233)^2}{84} \rightarrow \frac{54289}{84} = 646.29\ \Omega$

- $C = \frac{1}{2\,\pi\,\mathrm{F}\,\mathrm{Xc}} \rightarrow \frac{1}{2\,x\,3{,}14\,x\,50\,x\,646.29} \rightarrow \frac{1}{202.935}$

$\rightarrow \quad 4.92\ \mathrm{F} = 4.92 \times 10^{-6}\ \mu\mathrm{F}$

Setelah diketahui nilai C yang dibutuhkan , maka motor pertama akan di tambahkan nilai kapasitor 5 μF untuk mendapatkan power faktor yang baik sebagai berikut :

Rumus yang digunakan:

- Q c = $V^2\ 2\,\pi\,\mathrm{F}\,\mathrm{C}$
- Q 1 = P tan (ϕ 1)
- Q 2 = (Q1 − Qc)
- Cos ϕ = $\frac{P}{\sqrt{(P)^2\,(\mathrm{Q2})^2}}$

Penyelesaian :

- Q c = $V^2\ 2\,\pi\,\mathrm{F}\,\mathrm{C}$

  = $(233)^2$ x 2 x 3,14 x 50 x 5 × 10^{-6}

  = 54289 x 314 x 5 × 10^{-6}

= 85,23 VAR

- $Q_1 = P \tan(\phi 1)$

  = 23 x 3,71

  = 85,33 VAR

- $Q_2 = (Q_1 - Qc)$

  = 85,33 - 85,23

  = 0,1 VAR

- $\cos \phi = \frac{P}{\sqrt{(P)^2 (Q2)^2}}$

  $= \frac{23}{\sqrt{(23)^2 (0,1)^2}}$

  $= \frac{23}{\sqrt{529 + 0,01}}$

  $= \frac{23}{\sqrt{529,01}}$

  $= \frac{23}{23,0}$

  = 1

Motor 2 :

- Cos φ 1 = 0.69 ⟹ φ 1 = arccos (0.69) ≈ 46.36∘

Untuk mengetahui nilai Kapasitor yang akan digunakan, maka terlebih dahulu perlu diketahui **(Xc) (Ω)** yaitu:

Konstanta:

- π ≈ 3.14159
- F = 50 Hz
- V = 233 Volt

Penyelesaian :

- $X\,c = \frac{V^2}{P\,r} \rightarrow \frac{(233)^2}{145} \rightarrow \frac{54289}{145} = 374.40\ \Omega$

- $C = \frac{1}{2\,\pi\,F\,Xc} \rightarrow \frac{1}{2\,x\,3,14\,x\,50\,x\,374.40} \rightarrow \frac{1}{117.593}$

- $\rightarrow$ 8.50 F = 8.50×10^{-6} μF

Setelah diketahui nilai C yang dibutuhkan , maka motor kedua akan di tambahkan nilai kapasitor 8,5 μF untuk mendapatkan power faktor yang baik sebagai berikut :

Rumus yang digunakan:

- $Q_c = V^2\ 2\ \pi\ F\ C$
- $Q_1 = P \tan(\phi\ 1)$
- $Q_2 = (Q_1 - Qc)$
- $\cos\phi = \frac{P}{\sqrt{(P)^2\ (Q2)^2}}$

Penyelesaian :

- $Q_c = V^2\ 2\ \pi\ F\ C$

  $= (233)^2 \text{ x } 2 \text{ x } 3{,}14 \text{ x } 50 \text{ x } 8{,}5 \times 10^{-6}$

  $= 54289 \text{ x } 314 \text{ x } 8{,}5 \times 10^{-6}$

  $= 144{,}89 \text{ VAR}$

- $Q_1 = P \tan(\phi\ 1)$

  $= 140 \text{ x } 1{,}04$

  $= 145{,}6 \text{ VAR}$

- $Q_2 = (Q_1 - Qc)$

  $= 145{,}6 - 144{,}8$

  $= 0{,}8 \text{ VAR}$

- $\cos\phi = \frac{P}{\sqrt{(P)^2\ (Q2)^2}}$

  $= \frac{140}{\sqrt{(140)^2\ (0{,}8)^2}}$

  $= \frac{140}{\sqrt{19600 + 0{,}64}}$

  $= \frac{140}{\sqrt{19600{,}64}}$

  $= \frac{140}{140}$

  $= 1$

Motor 3 :

- Cos φ 1 = 0.53 ⟹ φ 1 = arccos (0.53) ≈ 57.99∘

Untuk mengetahui nilai Kapasitor yang akan digunakan, maka terlebih dahulu perlu diketahui **(Xc) (Ω)** yaitu:

Konstanta:

- π ≈ 3.14159
- F = 50 Hz
- V = 233 Volt

Penyelesaian :

- $X\,c = \frac{V^{2}}{P\,r} \rightarrow \frac{(233)^{2}}{321} \rightarrow \frac{54289}{321} = 169.12\ \Omega$

- $C = \frac{1}{2\,\pi\,F\,Xc} \rightarrow \frac{1}{2\,x\,3{,}14\,x\,50\,x\,169.12} \rightarrow \frac{1}{53103{,}68}$

$\rightarrow$ 18,83 F = 18,83 × 10^{-6} μF

Setelah diketahui nilai C yang dibutuhkan , maka motor ketiga akan di tambahkan nilai kapasitor 15 μF untuk mendapatkan power faktor yang baik sebagai berikut :

Rumus yang digunakan:

- Q c = $V^{2}\ 2\,\pi\,F\,C$
- Q 1 = P tan (ϕ 1)
- Q 2 = (Q1 − Qc)
- Cos ϕ = $\frac{P}{\sqrt{(P)^{2}\,(Q2)^{2}}}$

Penyelesaian :

- Q c = $V^{2}\ 2\,\pi\,F\,C$

  = $(233)^{2}$ x 2 x 3,14 x 50 x 15 × 10^{-6}

  = 54289 x 314 x 15 × 10^{-6}

  = 255,70 VAR

- Q 1 = P tan (ϕ 1)

  = 201 x 1,60

= 321,6 VAR

- $Q_2 = (Q_1 - Qc)$

  = 321,60 - 255,70

  = 65,90 VAR

- $\text{Cos } \phi = \frac{P}{\sqrt{(P)^2 (Q2)^2}}$

  $= \frac{201}{\sqrt{(201)^2 (65{,}90)^2}}$

  $= \frac{201}{\sqrt{40401 + 4344}}$

  $= \frac{201}{\sqrt{44745}}$

  $= \frac{201}{211{,}53}$

  = 0,95

Dari hasil perhitungan, nilai kapasitor yang perlu dipasang untuk memperbaiki faktor daya menjadi bagus pada beban motor yaitu ;

Tabel 4. 2 Data Setelah Penambahan Kapasitor Bank

Beban Motor	Ps (VA)	Pn (Watt)	Pr (VAR)	Pf	Is (A)	Cb (µF)
Motor 1	26	23	14	0,88	0,12	5
Motor 2	131	112	70	0,84	0,58	8,5
Motor 3	240	201	133	0,83	1,04	15

B. Perancangan Sistem Kontrol

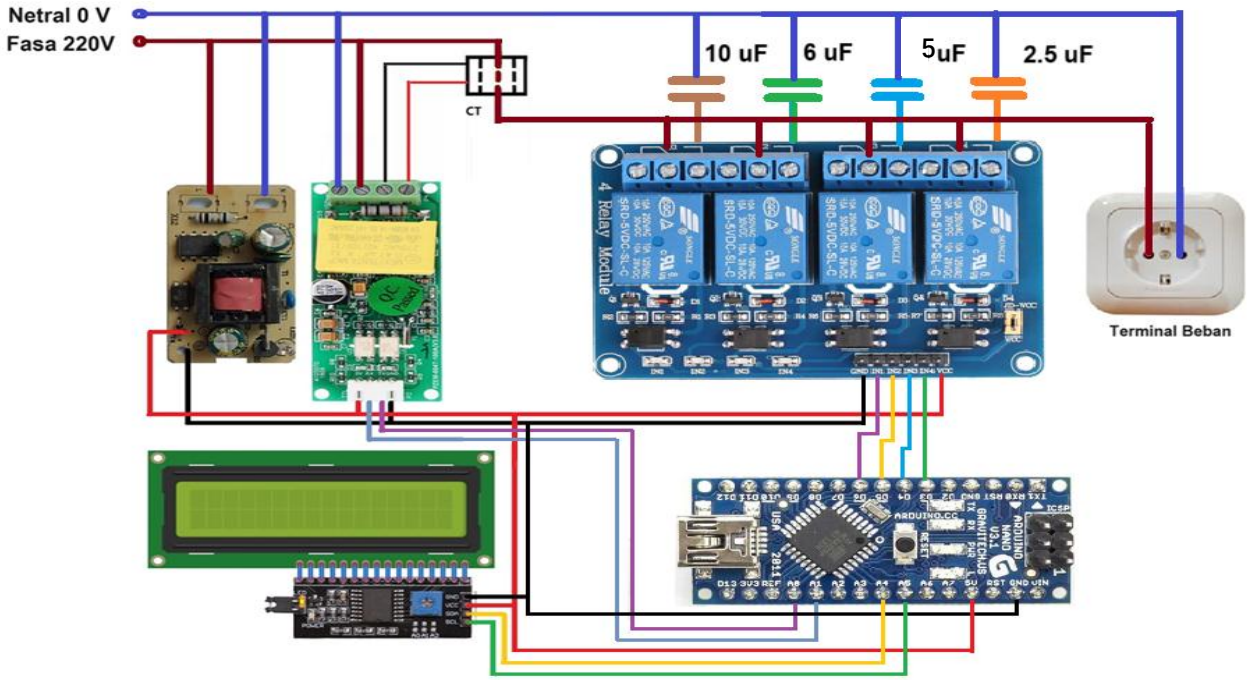
a. Perancangan Bangun Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis Berbasis Arduino

Proses perancangan sistem kontrol ini dimulai dari menentukan parameter yang ingin dicapai alat ini. Setelah parameter diketahui maka Arduino akan menerima data yang dibutuhkan dari sensor PZEM, kemudian data akan diolah menggunakan rumus untuk menentukan nilai kapasitornya proses ini dilakukan secara otomatis oleh Arduino, setelah Arduino menentukan nilai kapasitor maka relay yang terhubung ke kapasitor akan aktif sesuai dengan nilai kapasitor yang dibutuhkan.

b. Perancangan *Hardware* Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis Berbasis Arduino

Proses perancangan *hardware* ini dimulai dari pemilihan komponen dan pembelian komponen.

Pemilihan komponen sangat penting untuk proyek akhir. Komponen yang digunakan pada proyek akhir yang berjudul "Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis Berbasis Arduino" yaitu Kapasitor Bank, Sensor PZEM - 004 T, Relay, Arduino Nano , LCD 16x2, Push Button, LED, dan motor Listrik beban lainnya



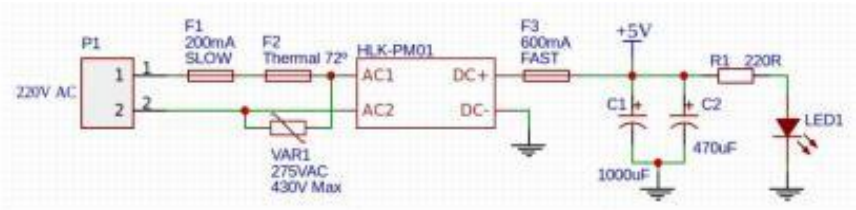
Gambar 4. 1 *Wiring* kontrol dan *hardware*

c. Pengujian *Hardware* Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis Berbasis Arduino

Proses pengujian *hardware* Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis Berbasis Arduino dengan menguji masing-masing komponen elektrik. Tujuan pengujian ini yaitu untuk mengetahui apakah komponen dalam keadaan baik atau tidak dan apakah komponen bisa bekerja dengan fungsi yang diinginkan atau tidak. Berikut tahap pengujian komponen-komponen elektrik yaitu:

d. Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T ini digunakan untuk mengukur nilai arus, tegangan, dan faktor daya. Sensor ini berperan penting dalam alat ini karena menjadi parameter dalam mengontrol alat ini. *Schematic* sensor PZEM-004T ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 2 *Schematic* Sensor Arus dan Tegangan AC (PZEM-004T) [13]

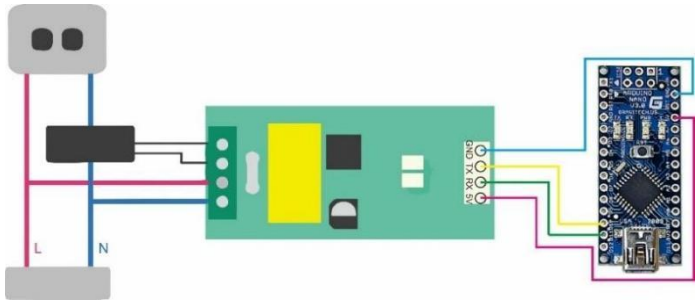
e. Metode Pemasangan Sensor PZEM-004T

Pemasangan sensor arus dan tegangan AC ini diputuskan dengan membeli modul sensor PZEM-004T yang sudah jadi dan siap digunakan hal ini tentu dapat meminimalisir waktu dalam proses pengerjaan proyek akhir Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis Berbasis Arduino. Sensor arus dan tegangan AC dibuat sesuai dengan perancangan yang telah dikonsep sebelumnya.

1. Pengujian Sensor PZEM-004T

Pengujian berfungsi untuk mengetahui nilai arus dan tegangan input yang terbaca oleh sensor PZEM-004T. Untuk melakukan uji coba sensor ini cukup 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. Proses diatas dilakukan dengan membuat program menampilkan nilai arus dan tegangan input yang terbaca

oleh sensor PZEM-004T pada software Arduino Nano. Rangkaian pengujian sensor ini dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Rangkaian Pengujian Sensor PZEM-004T

Berikut adalah list program pada pengujian sensor PZEM-004T menggunakan software Arduino Nano:

```
#include <PZEM004Tv30.h>
/* Use software serial for the PZEM
 * Pin 11 Rx (Connects to the Tx pin on the PZEM)
 * Pin 12 Tx (Connects to the Rx pin on the PZEM)
*/
PZEM004Tv30 pzem(11, 12);
void setup() {
  Serial.begin(115200);
}
void loop() {
    float voltage = pzem.voltage(); if(
    !isnan(voltage) ){
        Serial.print("Voltage: ");
Serial.print(voltage); Serial.println("V");
    } else {
        Serial.println("Error reading voltage");
    }
```

```
float current = pzem.current(); if(
!isnan(current) ){
Serial.print("Current: "); Serial.print(current);
} else {
Serial.println("Error reading current");
}
float power = pzem.power(); if(
!isnan(power) ){
Serial.print("Power: "); Serial.print(power);
Serial.println("W");
} else {
Serial.println("Error reading power");
}
float energy = pzem.energy(); if(
!isnan(energy) ){
Serial.print("Energy: "); Serial.print(energy,3);
Serial.println("kWh");
} else {
Serial.println("Error reading energy");
}
float frequency = pzem.frequency(); if(
!isnan(frequency) ){
Serial.print("Frequency: ");
Serial.print(frequency, 1); Serial.println("Hz");
} else {
Serial.println("Error reading frequency");
}
float pf = pzem.pf(); if(
!isnan(pf) ){
```

```
            Serial.print("PF: ");
            Serial.println(pf);
        } else {
            Serial.println("Error reading power factor");
        }
        Serial.println(); delay(2000);
    }}
```

f. Arduino Nano

Proyek akhir ini menggunakan Arduino Nano sebagai Mikrokontroler yang digunakan untuk mengontrol dari sistem perbaikan faktor daya ini. Arduino Nano dipilih karena Arduino jenis ini lebih murah dan spesifikasi nya sudah sesuai dengan yang diinginkan.

1. Perencanaan Arduino Nano

Perencanaan Arduino Nano bertujuan untuk mengetahui prinsip kerja dari Arduino Nano itu sendiri, serta memudahkan penulis dalam melakukan pemasangan komponen-komponen elektrik. Perancangan Arduino Nano digunakan sebagai Mikrokontroler dari sistem pemrograman yang akan digunakan pada proyek akhir. Arduino Nano digunakan untuk membuat suatu sistem sebagai kontrol dari berbagai komponen elektronika sehingga memudahkan dalam melakukan pemrograman mikrokontroler.

2. Pengadaan Arduino Nano

Proses pembuatan Arduino Nano dilakukan dengan cara melakukan pembelian modul Arduino Nano yang telah jadi dan siap pakai. Hal ini bertujuan untuk lebih praktis dan dapat menghemat waktu dalam pembuatan komponen tersebut. Lokasi perakitan Arduino Nano dilakukan di Universitas Muhammadiyah Parepare yaitu di ruangan Laboratorium Elektro. Hasil perakitan Arduino Nano dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut.



Gambar 4. 4 Pemasangan Arduino Nano

3. Pengujian Arduino Nano

Tujuan dilakukan pengujian pada Arduino Nano adalah untuk mengetahui kondisi modul Arduino Nano tersebut apakah dalam kondisi baik atau tidak. Modul Arduino Nano diuji dengan cara membuat program menggunakan *software*. Pengujian ini dilakukan menggunakan *port* Arduino Nano yang dihubungkan ke PC. Untuk pengecekan pin Arduino yang akan digunakan dapat dilihat pada *output* yang dihasilkan, dengan cara memberi *input* yang dihubungkan ke LED. Untuk hasil pengujian Arduino Nano dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut.



Gambar 4. 5 Blok Pengujian Arduino Nano

g. Perakitan sistem kontrol perbaikan faktor daya

Perakitan *Hardware* Elektrik Keseluruhan ini dilakukan untuk melakukan pengujian secara keseluruhan. Perakitan ini dilakukan untuk memasang seluruh komponen ke dalam *box panel* agar aman dan rapi. Berikut gambar 4.8 tampak dalam *box panel*:



Gambar 4. 6 Tampak depan *box panel*

h. Sketch Pengujian

Membaca tegangan, arus, daya aktif, dan power factor dari sensor PZEM.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
#include <PZEM004Tv30.h>
PZEM004Tv30 pzem(A0,A1); //A0->TX_Sensor & A1-> RX_Sensor
byte X=0;
unsigned long Millis_lama = 0;
unsigned long Millis_baru;
const long interval = 10000;  // interval at which to blink  (milliseconds)
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.init(); lcd.backlight();
  lcd.home();
  pinMode(6,OUTPUT); //R1=2,5 uF
  pinMode(5,OUTPUT); //R2=5 uF
  pinMode(4,OUTPUT); //R3=6 uF
  pinMode(3,OUTPUT); //R4=10 uF
  digitalWrite(6,1); digitalWrite(5,1);
```

```
   digitalWrite(4,1); digitalWrite(3,1);
   pinMode(8,OUTPUT); digitalWrite(8,0);
   pinMode(9,INPUT_PULLUP);
   delay(1000);}
```

Menghitung daya semu (Ps) dan daya reaktif (Pr).

```
void loop() {
   float volt = pzem.voltage();
   if(isnan(volt)) volt=0.0;
   float arus = pzem.current();
   float Pn = pzem.power(); // daya nyata atau aktif(Watt)
   float Ps = volt*arus;     //daya semu (VA
   float Pr = sqrt(pow(Ps,2)-pow(Pn,2)); //daya reaktif (VAr)
   float pf = pzem.pf();}
disp_awal();
   lcd.setCursor( 4,1); lcd.print(volt,0);
   lcd.setCursor(14,1); lcd.print(arus,2);
   lcd.setCursor( 4,2); lcd.print(Ps,0);
   lcd.setCursor(15,2); lcd.print(Pn,0);
   lcd.setCursor( 4,3); lcd.print(Pr,0);
   lcd.setCursor(16,3); lcd.print(pf);
   delay(2000);
```

Menentukan kombinasi kapasitor (via relay) berdasarkan nilai daya reaktif dan power factor.

```
if(pf>=0.20 && pf<0.75) {
            if(Pr>=40.0 && Pr<=50.0) X=1; // R1 on (nilai kapasitor 2.5 uF)
            if(Pr>50.0    && Pr<=95.0) X=2; // R2 on (nilai kapasitor 5 uF)
            if(Pr>95.0    && Pr<=120.0) X=3; //R3 on (nilai kapasitor 6 uF)
            if(Pr>120.0 && Pr<=180.0) X=4; //R4 on (nilai kapasitor 10 uF)
```

```
if(Pr>180.0 && Pr<=220.0) X=5; //R1,R4 on (nilai kapasitor 12,5 uF)
if(Pr>220.0 && Pr<=350.0) X=6; //R2,R3,R4 on (nilai kapasitor 20 uF)
if(Pr>350.0 && Pr<=500.0) X=7; //R1,R2,R3, R4 on (nilai kapasitor
                                                          22.5 uF)
  }
if(pf<0.20) X=0; //semua Relay Off} (kapasitor tidak bekerja karena
                                                  relay off semua)
```

Mengaktifkan kombinasi kapasitor untuk memperbaiki faktor daya.

```
if(pf<0.20) X=0; //semua Relay Off}switch(X) {
        case 0 : Relay(1,1,1,1);    break;
        case 1 : Relay(0,1,1,1);    break;
        case 2 : Relay(1,0,1,1);    break;
        case 3 : Relay(1,1,0,1);    break;
        case 4 : Relay(1,1,1,0);    break;
        case 5 : Relay(0,1,1,0);    break;
        case 6 : Relay(1,0,0,0);    break;
        case 7 : Relay(0,0,0,0);    break;}
```

Menampilkan semua parameter ke LCD dan Serial Monitor.

```
  Serial.println("Tegangan: " + String(volt,0)+ " V");
        Serial.println("Arus Beban: " + String(arus,2) + " A");
         Serial.println("PF: " + String(pf));
         Serial.println("Daya Semu: " + String(Ps,0) + " VA");
        Serial.println("Daya Aktif: " + String(Pn,0) + " W");
        Serial.println("nilai X: " + String(X));
        Serial.println("Daya Reaktif: " + String(Pr,0) + " VAr" + '\n');}
void disp_awal(){
        lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Sistem PFC Otomatis ");
        lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Vs:         V Is:          A");
        lcd.setCursor(0,2); lcd.print("Ps:         VA Pn:         W");
```

```
        lcd.setCursor(0,3); lcd.print("Pr:        VAr pF:        ");}
void Relay(bool R1, bool R2, bool R3, bool R4) {
        digitalWrite(6,R1); digitalWrite(5,R2);
        digitalWrite(4,R3); digitalWrite(3,R4);}
```

C. Pengujian

a. hasil pengukuran motor

Untuk menguji kepresisian alat yang telah dibuat dalam mengukur nilai tegangan, arus, daya dan faktor daya yang digunakan, maka dibandingkan dengan alat ukur *Power Meter Digital*. Berikut hasil pengujian yang dilakukan pada beban yang berbeda.

hasil pengukuran *Power Meter Digital* pada motor pompa air ini dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4. 7 Hasil pengukuran dengan alat *Power Meter Digital*

Dari pengukuran yang diperoleh pada dua motor pada alat ukur *Power Meter Digital* dapat dilhat pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4. 3 Hasil pengukuran motor listrik dengan alat ukur *Power Meter Digital*

Beban Motor	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya Aktif (Watt)	Pf
Motor 1	236	0,37	21,98	0,25
Motor 2	235	0,85	136,9	0,68
Motor 3	235	1,60	196,6	0,52

b. Hasil pengujian motor listrik dengan alat Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis

Hasil pengukuran dengan alat Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis 4.8



Gambar 4. 8 Hasil pengukuran dengan alat Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis (alat belum bekerja)

Dari pengukuran yang diperoleh pada dua motor diatas dengan alat Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis (Kondisi alat belum bekerja) dapat dilhat pada Tabel 4.4 berikut :

Tabel 4. 4 Hasil pengukuran motor listrik dengan alat Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis (alat belum bekerja)

Beban Motor	Tegangan (V)	Ps (VA)	Pr (VAr)	Arus (I)	Pn (Watt)	Pf
Motor 1	233	87	84	0,37	23	0,26
Motor 2	233	201	145	0,86	140	0,69
Motor 3	233	379	321	1,63	201	0,53

Hasil pengukuran dengan alat Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis 4.9



Gambar 4. 9 Hasil Pengukuran dengan alat Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis

Tabel 4. 5 Hasil pengukuran motor listrik dengan alat Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis

Beban Motor	Tegangan (V)	Ps (VA)	Pr (VAR)	Arus (I)	Pn (Watt)	Pf
Motor 1	233	26	14	0,12	23	0,88
Motor 2	233	132	70	0,58	112	0,84
Motor 3	233	235	133	1,02	201	0,85

Pengujian Sistem Penghemat Daya Listrik Melalui Perbaikan Faktor Daya Secara Otomatis, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah alat ini sudah bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Pada pengujian ini mengugunakan motor Listrik. setelah itu hasil dari pengujian akan di tampilkan pada LCD. Data hasil percobaan ini dapat dilihat pada tabel 4.6 di bawah ini :

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Alat

1. Analisa Data Beban Motor 1

Beban Motor	Kondisi	Tegangan (V)	Ps (VA)	Pr (VAR)	Arus (I)	Pn (Watt)	Pf
Motor 1	Sebelum	233	87	84	0,37	23	0,26
	Sesudah	233	26	14	0,12	23	0,88
Motor 2	Sebelum	233	201	145	0,86	140	0,69
	Sesudah	233	132	70	0,58	112	0,84
Motor 3	Sebelum	233	379	321	1,63	201	0,53
	Sesudah	233	235	133	1,02	201	0,85

Dari hasil pengujian sistem keseluruhan di atas, beban motor yang digunakan yaitu Pompa Air Aquarium dan memiliki Daya sebesar 23 W dan untuk nilai faktor dayanya itu sendiri sudah mengalami kenaikan dari 0.26 menjadi 0.88. Sedangkan untuk nilai arusnya mengalami penurunan dari 0,37 menjadi 0,12. dengan menggunakan kapasitor bank dengan nilai 5 uF. Dimana persentase kenaikan nilai efisiensi faktor dayanya dan persentase penurunan nilai arusnya adalah sebagai berikut:

$$\text{Persentase Kenaikan Nilai Efisiensi PF} = \frac{0{,}88 - 0{,}26}{0{,}88} \times 100\ \%$$

$$= 70{,}45\ \%$$

$$\text{Persentase Penurunan Nilai Arus} = \frac{0{,}37 - 0{,}12}{0{,}37} \times 100\ \%$$

$$= 67{,}56\ \%$$

Jadi perubahan nilai faktor daya yang awal mulanya 0.26 menjadi 0.88 telah mengalami kenaikan sebesar 70,45 % sedangkan untuk nilai arusnya yang awalnya 0.37 menjadi 0.12 mengalami penurunan sebesar 67,56 %. Kenaikan nilai efisiensi dari faktor

daya ini terjadi karena adanya penambahan kapasitor bank pada sistem. Untuk mengetahui berapa nilai kapasitor bank yang dibutuhkan baik dari pembacaan alat ataupun secara perhitungan bisa dilihat pada tabel 4.7 di bawah ini:

Tabel 4. 7 Perbandingan Antara Pembacaan dan Perhitungan Nilai Kapasitor Pompa Air Aquarium

Pengujian	Pembacaan Alat (nilai kapasitor yang bekerja)	Perhitungan
Kapasitor Yang Dibutuhkan	5 uF	4,92 uF

Dari tabel diatas terdapat perbedaan 0.92 uF antara hasil dari pembacaan dengan hasil perhitungan. Untuk mengetahui persentase *error* yang terjadi bisa dilihat pada rumus di bawah ini:

$$\text{Persentase error Penentuan Kapasitor} = \frac{4{,}92 - 5}{4{,}92} \times 100\ \%$$

$$= -1{,}62\ \%$$

Dari perhitungan diatas diketahui persentase *error* penentuan kapasitor bank yang digunakan antara pembacaan dan perhitungan yaitu sebesar - 1,62 %. Hal ini terjadi karena pada saat perhitungan penentuan besarnya kapasitor yang digunakan adanya pembulatan nilai hasil perhitungan dan kemungkinan kesalahan alat ketika pengambilan data awal yang mengakibatkan hasil dari pembacaan dan perhitungan terjadi sedikit perbedaan .

2. Analisa Data Beban Motor 2

Dari hasil pengujian beban motor kedua yang digunakan yaitu Mesin paruk Kelapa dan memiliki Daya sebesar 140 W dan untuk nilai faktor dayanya itu sendiri sudah mengalami kenaikan dari 0.69 menjadi 0.84. Sedangkan untuk nilai arusnya mengalami penurunan dari 0,86 menjadi 0,58. dengan menggunakan kapasitor bank dengan nilai 8,5 uF. Dimana persentase kenaikan nilai efisiensi faktor dayanya dan persentase penurunan nilai arusnya adalah sebagai berikut:

$$\text{Persentase Kenaikan Nilai Efisiensi PF} = 0{,}84 - 0{,}69 \times 100\ \%$$

$$\frac{}{0,84}$$

$$= 17,85\ \%$$

Persentase Penurunan Nilai Arus $= \frac{0,86 - 0,58}{0,86} \times 100\ \%$

$$= 32,55\ \%$$

Jadi perubahan nilai faktor daya yang awal mulanya 0.69 menjadi 0.84 telah mengalami kenaikan sebesar 17,85 % sedangkan untuk nilai arusnya yang awalnya 0.86 menjadi 0.58 mengalami penurunan sebesar 32,55 %. Kenaikan nilai efisiensi dari faktor daya ini terjadi karena adanya penambahan kapasitor bank pada sistem. Untuk mengetahui berapa nilai kapasitor bank yang dibutuhkan baik dari pembacaan alat ataupun secara perhitungan bisa dilihat pada tabel 4.8 di bawah ini:

Tabel 4. 8 Perbandingan Antara Pembacaan dan Perhitungan Nilai Kapasitor Mesin Paruk Kelapa

Pengujian	**Pembacaan Alat (nilai kapasitor yang bekerja)**	**Perhitungan**
Kapasitor Yang Dibutuhkan	8,5 uF	8,50 uF

Dari tabel diatas terdapat perbedaan 2,5 uF antara hasil dari pembacaan dengan hasil perhitungan. Untuk mengetahui persentase *error* yang terjadi bisa dilihat pada rumus di bawah ini:

Persentase error Penentuan Kapasitor $= \frac{8,50 - 8,5}{8,50} \times 100\ \%$

$$= 0\ \%$$

Dari perhitungan diatas diketahui persentase *error* penentuan kapasitor bank yang digunakan antara pembacaan dan perhitungan yaitu sebesar 0 %. Hal ini terjadi karena pada saat penentuan besarnya kapasitor yang digunakan adanya pemilihan kapasitor yang

pas 8,5 uF.

3. Analisa Data Beban Motor 3

Dari hasil pengujian sistem keseluruhan di atas, pada beban motor ketiga yang digunakan yaitu Mesin Pompa Air Shimizu dan memiliki Daya sebesar 201 W dan untuk nilai faktor dayanya itu sendiri sudah mengalami kenaikan dari 0.53 menjadi 0.85. Sedangkan untuk nilai arusnya mengalami penurunan dari 1,63 menjadi 1,02. dengan menggunakan kapasitor bank dengan nilai 15 uF. Dimana persentase kenaikan nilai efisiensi faktor dayanya dan persentase penurunan nilai arusnya adalah sebagai berikut:

Persentase Kenaikan Nilai Efisiensi PF $= \frac{0,85 - 0,53}{0,85} \times 100\ \%$

$= 37,64\ \%$

Persentase Penurunan Nilai Arus $= \frac{1,63 - 1,02}{1,63} \times 100\ \%$

$= 37,42\ \%$

Jadi perubahan nilai faktor daya yang awal mulanya 0.53 menjadi 0.85 telah mengalami kenaikan sebesar 37,64 % sedangkan untuk nilai arusnya yang awalnya 1.63 menjadi 1.02 mengalami penurunan sebesar 37,42 %. Kenaikan nilai efisiensi dari faktor daya ini terjadi karena adanya penambahan kapasitor bank pada sistem. Untuk mengetahui berapa nilai kapasitor bank yang dibutuhkan baik dari pembacaan alat ataupun secara perhitungan bisa dilihat pada tabel 4.9 di bawah ini:

Tabel 4. 9 Perbandingan Antara Pembacaan dan Perhitungan Nilai Kapasitor Mesin Pompa Air Shimizu

Pengujian	**Pembacaan Alat (nilai kapasitor yang bekerja)**	**Perhitungan**
Kapasitor Yang Dibutuhkan	15 uF	18,83 uF

Dari tabel diatas terdapat perbedaan 3,83 uF antara hasil dari pembacaan dengan hasil perhitungan. Untuk mengetahui persentase *error* yang terjadi bisa dilihat pada rumus di bawah ini:

$$\text{Persentase error Penentuan Kapasitor} = \frac{18{,}83 - 15}{18{,}83} \times 100\ \%$$

$$= 20{,}33\ \%$$

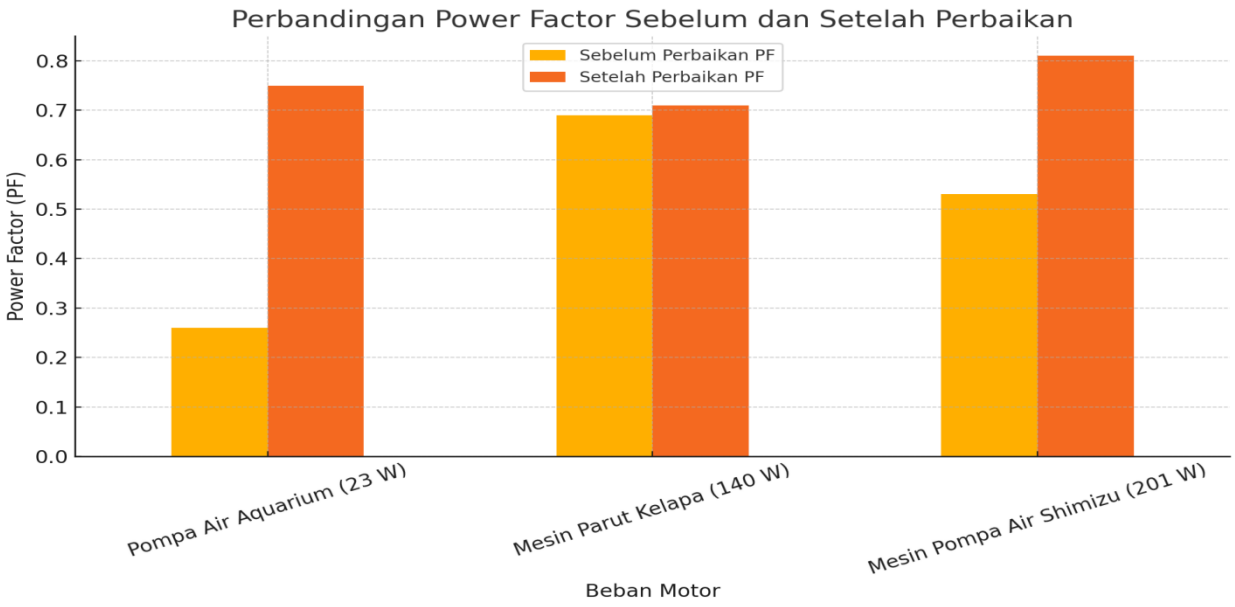
Dari perhitungan diatas diketahui persentase *error* penentuan kapasitor bank yang digunakan antara pembacaan dan perhitungan yaitu sebesar 20,33 %. Hal ini terjadi karena pada saat penentuan besarnya kapasitor yang digunakan tidak adanya pemilihan kapasitor 18,5 uF sehingga alat bekerja menggunakan kapasitor yang mendekati yaitu 15 uF yang mengakibatkan hasil dari pembacaan dan perhitungan terjadi perbedaan.

4. Hasil Pengujian Nilai *Power Factor* Keseluruhan

Hasil dari semua pengujian nilai *power factor* pada sistem secara keseluruhan dengan menggunakan 3 jenis variasi beban bisa dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini:

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Nilai *Power Factor* Keseluruhan

Beban	**Sebelum Perbaikan PF**	**Setelah Perbaikan PF**
Pompa Air Aquarium (23 W)	0.26	0.88
Mesin Paruk Kelapa (140 W)	0.69	0.84
Mesin Pompa Air Shimizu (201 W)	0.53	0.85



Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Nilai Power Factor Keseluruhan

Analisa:

Dari hasil data di atas diketahui bahwa telah terjadi kenaikan nilai faktor daya sesudah mengalami perbaikan menggunakan kapasitor bank pada 3 jenis variasi beban yang digunakan. Untuk beban Pompa Air Aquarium mengalami kenaikan faktor daya sebesar 0.88, pada beban Mesin Paruk Kelapa mengalami kenaikan faktor daya sebesar 0.84, sedangkan pada beban Mesin Pompa Air Shimizu mengalami kenaikan faktor daya sebesar 0.83.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor bank berbasis Arduino untuk motor listrik yang telah diuraikan diatas, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Membuat alat Rancang bangun sistem penghemat daya listrik melalui perbaikan faktor daya secara otomatis berbasis arduino dapat membaca nilai faktor daya pada beban listrik dengan baik dan dapat mengontrol nilai daya reaktif yang dibutuhkan secara otomatis.
2. Alat perbaikan faktor daya otomatis dapat meningkatkan nilai faktor daya pada beban induktif. Dimana hasil sebelum dan sesudah perbaikan dapat dilihat perbedaannya ataupun perubahannya pada LCD berbeda. Untuk pengukuran dan percobaan pada beban motor Listrik pertama terjadi kenaikan efisiensi faktor daya dari nilai faktor daya awal 0,26 menjadi 0,88 dan motor Listrik ke dua nilai awal 0.69 menjadi 0.84 pada mesin paruk kelapa.
3. Dari percobaan yang telah dilakukan dapat diketahui nilai faktor daya maksimum pada motor Listrik pertama sebesar 0,88 pada pompa air dan 0,85 mesin paruk kelapa 0,84.

B. Saran

Dari keseluruhan proyek akhir yang telah dikerjakan ini ada beberapa saran yang disampaikan untuk mengembangkan proyek akhir ini kedepannya, yaitu:

1. Disarankan menggunakan Solid State Relay (SSR), karena jika menggunakan relay mekanis akan rentan rusak jika digunakan terus menerus.
2. Disarankan menggunakan beban dengan daya yang lebih besar agar perubahan data dapat dirasakan dengan signifikan.
3. Judul proyek akhir ini masih bisa di kembangkan dengan menambahkan sistem *Internet Of Things* (IOT).
4. Penambahan Modul Relay agar nilai kapasitor bisa memperbaiki faktor daya peralatan sesuai kebutuhan peralatan listrik contohnya pada Motor 2 dan 3
   - 18,5 uF

DAFTAR PUSTAKA

Aldi Razor. (2020). Modul Relay Arduino: Pengertian, Gambar, Skema, dan Lainnya. Diperoleh dari: https://www.aldyrazor.com/2020/05/modul- relay-arduino.html. (Diakses 27 Mei 2023).

Fachry Azharuddin, dkk. (2017). Pengaruh Penambahan Kapasitor Bank Terhadap Tegangan, Arus, Faktor Daya, dan Daya Aktif pada Beban Listrik di Minimarket.Jurnal Teknik Elektro.9(2):68

Nanda Fartino, Tarmizi, Mahdi Syukri. (2020). Kajian Perancangan Alat Perbaikan Faktor Daya Otomatis. Teknik Elektro. 5(1)11-18.

NN Digital. (2019). Mengenal *PZEM004T* Modul Elekronik Untuk Alat Pengukuran Listrik. Diperoleh dari: https://www.nn-digital.com/blog/2019/07/10/mengenal-pzem-004t-modul-elektronik-untuk- alat-pengukuran-listrik. (Diakses 13 Mei 2023).

Raja Harahap, Yacub M.L.T. (2023). Rancang Bangun Kapasitor Bank Otomatis Untuk Perbaikan Faktor Daya Pada Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Arduino Uno. Electrical Technology. 8(2)55-57.

Risdina. (2019). Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Perbaikan Faktor Daya pada Konsumsi Listrik Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroller Atmega32. Skripsi. Universitas Islam Negeri Sumatra Utara.

S.Handriyani, A. Soeprijanto, and S. Anam, "Analisa Perbaikan Faktor Daya untuk Penghematan Biaya Listrik di KUD Tani Mulyo Lamongan," vol. 3, no. 6, pp. 1–6, 2012.

T. Nusa, "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler", *E-Journal Tek. Elektro Dan Komputer*., vol. 4, no. 5, pp. 19–26, 2015

Windu Nur Hardiranto. (2017). Analisa Optimasi Perbaikan Faktor Daya dan Drop Tegangan dengan Menggunakan Kapasitor Bank pada Line 5 PT Bukit Asam (PERSERO) TBK.Skripsi.Universitas Lampung.

Wikipedia. (2023). Mengenal Sejarah Listrik. Diperoleh dari: https://id.wikipedia.org/wiki/Listrik#. (Diakses 25 Mei 2023).

http://artikelteknologi.com/pengertian-daya-semu-daya-nyata-dan-daya-reaktif//

http://belajarelektronika.net/pengertian-dan-fungsi-kapasitor//