

PERANCANGAN HMI (*HUMAN MACHINE INTERFACE*) SEBAGAI PENGONTROL DAN PENDETEKSI DINI KERUSAKAN KAPASITOR BANK BERBASIS PLC

Kurnia Agung Syahputra¹, Ferry R A Bukit², Suherman³
 Departemen Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia^{1,2,3}
 email: kurniaagung2787@gmail.com¹

Abstract

Programmable Logic Controller (PLC) is a user friendly, microprocessor-based equipment that contains control functions of various types and levels of complexity. The control system is designed to be able to monitor the value of the power factor to remain stable and can determine the indication of early damage to the capacitor bank. In this research, an automatic control system is designed that can turn on the capacitor bank when the power factor value ≤ 0.95 and turn off the capacitor bank when the power factor value ≥ 1 . HMI can provide data indication of early breakdown of capacitor banks based on the current value of each capacitor. This system utilizes PLC GE, and CE Digital Transducer so that the condition of the capacitor bank can be known in case of damage and decreased efficiency. Based on the test, when the power factor value is 0.95, the program will turn on the capacitor bank to meet the set point value of 0.95 and turn on the alarm indication that the power factor value is not sufficient, when the power factor value exceeds ≥ 1 , the program will turn off the capacitor bank that works longer. The HMI system is able to provide data to perform preventive maintenance activities on a regular basis in order to maintain the efficiency and reliability of capacitor banks.

Keywords: PLC, Capacitor bank, Power factor, HMI

Abstrak

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan sebuah peralatan user-friendly, berbasis microprocessor yang berisi fungsi kontrol dari berbagai jenis dan level secara kompleksitas. Sistem kendali di rancang untuk dapat melakukan monitoring nilai power factor agar tetap stabil dan dapat mengetahui indikasi kerusakan dini kapasitor bank. Pada penelitian ini, dirancang sebuah sistem kendali otomatis yang dapat menyalakan kapasitor bank saat nilai power factor $\leq 0,95$ dan mematikan kapasitor bank ketika nilai power factor ≥ 1 . HMI dapat memberikan data indikasi kerusakan dini kapasitor bank berdasarkan nilai arus masing-masing kapasitor. Sistem ini memanfaatkan PLC GE, dan CE Digital Transducer sehingga kondisi kapasitor bank dapat diketahui apabila terjadi kerusakan dan penurunan efisiensi. Berdasarkan pengujian, pada saat nilai power factor $\leq 0,95$ maka program akan menyalakan kapasitor bank untuk memenuhi nilai set point 0,95 dan menyalakan alarm indikasi bahwa nilai power factor belum mencukupi, ketika nilai power factor melebihi ≥ 1 maka program akan mematikan kapasitor bank yang bekerja lebih lama. Sistem HMI mampu memberikan data untuk melakukan kegiatan preventive maintenance secara berkala guna menjaga efisiensi dan keandalan kapasitor bank.

Kata kunci: PLC, kapasitor bank, power factor, HMI

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi yang berkembang pesat dalam dunia industri menyebabkan banyaknya teknologi dan temuan baru yang bersifat mempermudah dalam aktivitas pekerjaan. Khususnya pada bidang kontrol dan penerapan otomasi industri, sistem kontrol tidak hanya berupa rangkaian kontrol secara fisik. Tetapi menggunakan peralatan kontrol dengan pemrograman yang dapat diperbaharui dan modifikasi. Salah satu bentuk sistem otomasi tersebut adalah penggunaan PLC (Programmable Logic Controller) dalam mengontrol suatu proses kerja dari suatu sistem dan dipadukan penerapannya dengan HMI (Human Machine Interface) sehingga dalam pengontrolannya sudah dapat dilakukan dari depan monitor bahkan dalam smartphone dengan tampilan simulasi yang menarik [1].

PLC merupakan sebuah peralatan user friendly, berbasis microprocessor yang berisi fungsi kontrol dari berbagai jenis dan level secara kompleksitas. PLC dapat diprogram, dikontrol dan dioperasikan oleh seseorang yang tidak begitu mahir dalam pengoperasian PC [1], [2]. Penggunaan kapasitor bank dapat digunakan untuk memperbaiki nilai faktor daya sistem pendistribusian listrik di lingkungan industri. Dengan pengaplikasian kontrol menggunakan diagram ladder block PLC dengan monitoring

di HMI. Proses perbaikan faktor daya menggunakan metode rotary based dengan menggunakan beberapa step kapasitor dari logika pengujiannya [3].

Penggunaan kapasitor bank di PT.Sinar Alam Permai Palembang digunakan untuk memperbaiki atau menambah nilai faktor daya (cos phi). Dalam 3 tahun terakhir terdapat 20 kapasitor bank yang diperbaharui.dengan penyebab yang berbeda – beda yaitu faktor voltage kapasitor, temperatur ruangan, frequency kerja kapasitor dan quality power. Kerusakan kapasitor bank dapat menyebabkan turunnya nilai faktor daya dan mengakibatkan arus yang mengalir pada sistem jaringan tenaga listrik mengalami kenaikan. Dengan tingginya nilai arus mengakibatkan rugi – rugi listrik, besarnya rating kva, voltage drop, dan biaya pemakaian listrik semakin besar. Faktor penyebab kerusakan kapasitor bank di lingkungan perusahaan yaitu kurangnya sistem perawatan, pemeliharaan dan pemantauan panel kapasitor bank[2].

Dari permasalahan diatas, hal ini yang melatarbelakangi penulis untuk merancang sebuah sistem kendali untuk mengontrol kapasitor bank yang dapat mengambil data nilai arus ,sinyal running hour , total nilai cos phi dan program step per step dari setiap kapasitor bank. Menggunakan PLC GE dipadukan dengan HMI.

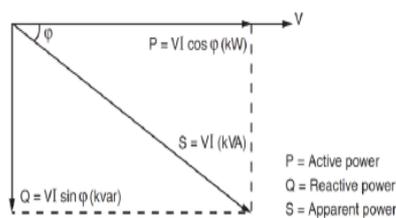
Sehingga kita dapat mendeteksi dini apabila terjadi kerusakan pada salah satu kapasitor *bank*, dapat mengurangi biaya penggunaan listrik, mempermudah monitoring kapasitor *bank* dan menjaga nilai *power factor* tetap stabil.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Kualitas Daya

Terdapat 3 jenis penggunaan daya dalam industri tenaga listrik, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya total. Daya aktif adalah daya yang biasanya digunakan untuk menggerakkan beban, atau daya yang dapat dilihat dalam kondisi dunia nyata. Daya reaktif adalah daya yang digunakan untuk proses magnetisasi pada beban-beban mesin listrik. Sedangkan daya total adalah daya keseluruhan antara daya aktif dan daya reaktif [4]. Pada pemakaian listrik rumah tangga, tagihan listrik yang dibayar hanyalah tagihan daya aktif (kWh). Namun pada industri, tagihan listrik yang dibayar adalah penggunaan daya aktif (kWh) dan daya reaktif (kVARh).

Pada sistem kelistrikan industri banyak yang menggunakan beban motor untuk mendukung proses produksi pabrik. Kapasitas beban motor yang digunakan mencapai kapasitas yang sangat besar sehingga industri seringkali menggunakan sistem kelistrikan khusus. Beban motor membutuhkan daya reaktif untuk membangkitkan medan listrik sehingga bersifat induktif. Hal ini menyebabkan menjadi rendahnya faktor daya (kurang dari 0,85). Merupakan sebuah kerugian bagi industri apabila faktor daya berada di bawah 0,85 karena dapat dikenakan denda oleh regulator. Oleh karena itu untuk mengatasi rendahnya faktor daya, banyak industri yang menggunakan kapasitor *bank* untuk dapat menaikkan faktor daya sehingga industri terhindar dari denda regulator. Sistem jaringan kelistrikan dengan beban induktif akan mengakibatkan arus beban tertinggal (*lagging*) dengan tegangan sumber. Arus beban terdiri dari komponen induktif dan komponen resistif yang sefasa dengan sumber tegangan. Dengan ditambahkannya kapasitor *bank* dapat memperbaiki arus beban menjadi mendahului (*leading*) sehingga akan saling menghilangkan dengan arus beban induktif. Dengan begitu arus beban akan menjadi sefasa dengan sumber tegangan dan faktor daya akan sama dengan atau mendekati 1 [5]. Gambar diagram segitiga daya dapat dilihat pada Gbr 1.



Gbr 1. Segitiga Daya

Dari segitiga daya, akan didapatkan persamaan bahwa:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (1)$$

B. Faktor Daya

Faktor daya (*power factor*) dari suatu sistem listrik adalah merupakan perbandingan besarnya daya aktif (KW) dengan besarnya daya nyata (KVA) dari sistem tersebut. Untuk menanggulangi besarnya arus yang dipakai untuk memenuhi beban reaktif induktif maka arus reaktif induktif yang besar, akan menyebabkan arus total yang besar dan

menyebabkan jatuh tegangan serta rugi rugi daya yang disebabkan oleh pengaruh beban. Dalam sistem tenaga listrik AC, dikenal tiga jenis daya yakni: daya aktif (*active power*), daya reaktif (*reactive power*), dan daya semu (*apparent power*)[6].

$$\cos \varphi = \frac{\text{Daya Aktif (kW)}}{\text{Daya Nyata (kVA)}} \quad (2)$$

Sehingga dapat juga dikatakan bahwa faktor daya (pf) adalah cosinus sudut antara vektor daya aktif dengan daya semu. Faktor daya dinyatakan dengan sudut pergeseran fase antara arus dengan tegangan dan arah pergeseran fase ini tergantung pada jenis beban yang terpasang pada sistem. Untuk beban-beban yang bersifat induktif, maka vektor tegangan akan mendahului vektor arus sebesar 90° (*leading*), dan jika bebannya bersifat kapasitif maka vektor tegangan akan ketinggalan 90° terhadap vektor arus (*lagging*). Umumnya beban bersifat induktif, maka beban yang menyerap daya reaktif induktif disebut beban reaktif, sedangkan beban yang membutuhkan daya reaktif kapasitif disebut sumber daya reaktif. Untuk menentukan faktor daya *lagging* (tertinggal) dan *leading* (terdahului) dalam sistem tenaga listrik adalah dengan memperhatikan arah aliran daya aktif dan daya reaktif[6.7].

1) Penyebab dan Akibat Rendahnya Faktor Daya

Adapun penyebab rendahnya nilai faktor daya diantaranya :

Penyebab faktor daya rendah

Faktor daya yang rendah akan menyebabkan arus yang mengalir pada suatu beban listrik menjadi besar. Faktor-faktor daya yang rendah dihasilkan oleh peralatan seperti motor induksi, transformator, terutama pada beban-beban rendah dan unit-unit ballast dari lampu pelepas (*discharge lighting*) yang memerlukan arus magnetisasi reaktif untuk geraknya. Medan magnet dari peralatan-peralatan seperti ini memerlukan arus yang tidak melakukan kerja yang bermanfaat dan tidak mengakibatkan panas atau daya mekanis, tetapi yang diperlukan hanyalah untuk membangkitkan medan.

Cara lain untuk melihat masalah ini adalah menyadari bahwa suatu faktor daya yang buruk menyebabkan tegangan dan arus berlawanan fasa sehingga perkaliannya tidak menghasilkan daya dalam watt, tetapi dalam Volt-Ampere[6].

Faedah Perbaikan Faktor Daya

Bertambahnya salah satu atau kedua komponen daya aktif dan daya reaktif akan diikuti dengan membesarnya daya semu. Meningkatnya komponen daya aktif tidak menimbulkan masalah sejauh tidak melampaui batas kemampuan nominal (*rating*) peralatan, lain halnya dengan komponen daya reaktif yang walaupun tidak sampai melampaui batas kemampuan nominal, namun merugikan ditinjau dari segi efisiensi penyaluran energi. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut: Sistem pembangkit tenaga listrik mempunyai batas daya nyata bagi penggerak mulanya dan batas daya semu bagi generator. Umumnya generator mempunyai kapasitas daya nyata bagi penggerak mula untuk faktor daya maksimum. Dengan demikian kebutuhan sistem akan daya reaktif akan mereduksi daya nyata yang akan

disalurkan ke beban. Makin besar daya reaktif yang disalurkan untuk besar daya semu yang sama, makin buruk faktor daya ($\cos \varphi$) sistem[6]. Permintaan daya reaktif yang kian membesar mengakibatkan usaha untuk memperbaiki faktor daya semakin mendesak mengingat faedahnya antara lain :

- Mengurangi rugi-rugi I^2X pada sistem pengurangan arus.
- Mengurangi rugi-rugi I^2R pada sistem pengurangan arus.
- Mengurangi beban KVA generator sehingga kondisi beban dapat teratasi atau tersedia kapasitas untuk melayani kebutuhan beban.
- Memperbaiki tegangan di sisi beban.
- Memperpanjang umur sistem.

C. Rugi rugi

Rugi-rugi daya listrik pada sistem berkaitan dengan resistansi atau tahanan serta kuadrat dari arus yang mengalir. Dengan faktor daya yang lebih baik, arus listrik berkurang, sehingga rugi-rugi daya sistem juga akan berkurang. Pada sistem tiga fasa, rugi-rugi jaringan diekspresikan sebagai berikut[6].

$$P = 3I^2R \quad (3)$$

dimana,

$$I = \frac{S}{V\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{V\sqrt{3}} \quad (4)$$

Sehingga,

$$P = \frac{P^2 + Q^2}{V^2} \times R \quad (5)$$

Reduksi atau pengurangan rugi-rugi dengan perbaikan faktor daya diberikan pada persamaan berikut.

$$\Delta P = P \times [1 - (\cos \varphi_1 \cos \varphi_2)^2] \quad (6)$$

dimana:

ΔP : pengurangan rugi-rugi

P : rugi-rugi daya sebelum koreksi faktor daya

$\cos \varphi_1$: faktor daya sebelum koreksi faktor daya

$\cos \varphi_2$: faktor daya sesudah koreksi faktor daya

D. Drop Tegangan

Drop tegangan atau tegangan jatuh pada sistem diberikan dengan persamaan berikut.

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (7)$$

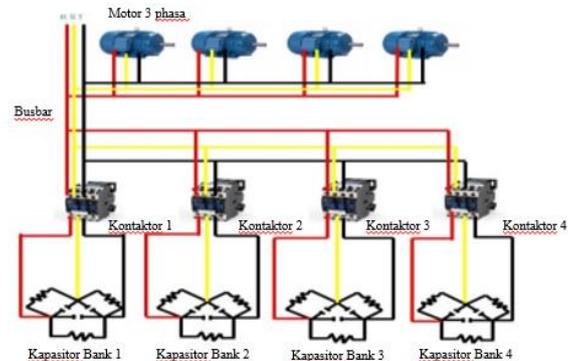
Pada daya aktif yang sama, drop tegangan yang dihasilkan akan mengecil pada faktor daya yang besar. Terlihat bahwa dengan berkurangnya sudut perpindahan fase φ dari perbaikan faktor daya antara tegangan dan arus, variasi level tegangan dan drop tegangan juga akan berkurang[6].

E. Kapasitor Bank

Kapasitor *bank* adalah sebuah komponen panel listrik yang dihubungkan secara paralel atau seri antara power bank yang satu dengan power bank yang lain. Sebuah kapasitor *bank* adalah kumpulan dari beberapa kapasitor yang memiliki spesifikasi yang sama dan memiliki nilai kapasitas total untuk semua kapasitor. Bank kapasitor dapat memperbaiki nilai faktor daya rendah. Aplikasi kapasitor

bank banyak digunakan dalam industri, rumah dan audio mobil.

Kapasitor *bank* tiga fasa adalah kapasitor satu fasa deltamount. Kapasitor ini dipasang sejajar dengan resistor untuk menghilangkan tegangan yang tersimpan dalam kapasitor. Nilai kapasitor pada setiap bank kapasitor harus memiliki besaran yang sama dengan yang lain dalam rangkaian delta. Setiap langkah memiliki nilai kapasitor yang berbeda[2]. Pemasangan kapasitor *bank* dapat dilihat pada Gbr 2.



Gbr 2. Wiring Diagram Kapasitor *bank*

Pada gambar diatas menjelaskan bagaimana prinsip kerja dari kapasitor *bank* yang terpasang secara paralel sebagai penyedia daya reaktif pada beban induktif yaitu motor induksi 3 fasa. Proses kerja kapasitor dimulai saat rangkaian diberi tegangan melawati switching kontaktor 3 fasa maka elektron akan mengalir masuk ke kapasitor. Pada saat kapasitor penuh dengan muatan elektron maka tegangan akan berubah. Kemudian elektron akan keluar dari kapasitor dan mengalir ke dalam rangkain yang terhubung ke beban motor induksi dengan demikian pada saat itu kapasitor membangkitkan daya reaktif. Bila tegangan yang berubah itu kembali normal maka kapasitor akan menyimpan kembali elektron. Pada saat kapasitor mengeluarkan elektron berarti sama juga kapasitor menyuplai daya reaktif ke beban.

F. Programmable Logic Control

PLC (Programmable Logic Controller) adalah mikroprosesor yang digunakan untuk otomatisasi proses industri seperti pemantauan dan pengendalian mesin pada jalur perakitan sebuah pabrik. PLC memiliki input dan output yang terkait dengan perangkat eksternal. Input pada PLC biasanya berupa sensor. Output pada PLC misalnya adalah motor DC. Bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengoperasikan PLC berbeda dengan bahasa pemrograman biasa. Bahasa yang digunakan adalah Ladder, yang hanya berisi input-process output. Disebut tangga, karena bahasa pemrograman terlihat seperti tangga [3]. Jenis PLC yang digunakan dalam penelitian ini adalah PLC GE Fanuc.

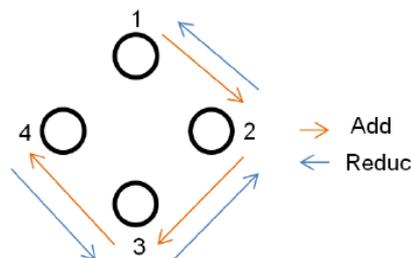


Gbr 3. Programmable Logic control GE

Keuntungan dari PLC adalah tanpa intervensi sistem, perubahan strategi kontrol adalah mungkin. PLC lebih kecil, lebih murah, dan lebih andal daripada sistem kontrol relay yang sesuai. Perbaikan faktor daya motor induksi (IM) menggunakan PLC disajikan dalam makalah ini.

G. Metode Rotary Based

Proses perbaikan faktor daya menggunakan metode putar. Metode putar ini menggunakan kapasitor 4 langkah. Jika kapasitor langkah 1 tidak dapat memperbaiki faktor daya maka kapasitor langkah 2 akan ditambahkan. Jika kapasitor langkah 2 tidak dapat ditambahkan langkah berikutnya secara berurutan. Jika nilai faktor daya melebihi set point maka penambahan step kapasitor akan berkurang [3]. Konsep metode putar pada kapasitor ditunjukkan pada Gbr 4.



Gbr 4. Diagram Blok Rotary Based

H. Human Machine Interface

Human Machine Interface (HMI) adalah antarmuka perangkat lunak antara mesin atau pabrik dan operator atau pengamat. Umumnya HMI terdiri dari sebuah komputer pusat atau beberapa komputer terpisah yang berfungsi untuk memonitor dan mengontrol mesin, pabrik atau proses dalam suatu pabrik[3]. Tujuan penggunaan HMI adalah untuk mengumpulkan dan menampilkan informasi dari proses di pabrik. HMI dapat dihubungkan langsung dengan PLC[9.10]. Dengan perkembangan teknologi yang semakin canggih, penggunaan PLC dan HMI menjadi salah satu hal yang wajib dalam pembuatan mesin produksi[10]. Hal ini wajib karena menghindari human error dan menghindari ketergantungan manusia pada kapasitas produksi. Bentuk contoh pada Gbr 5 .



Gbr 5. Cimplicity

III. METODE

A. Waktu dan Tempat

Pelaksanaan penelitian skripsi ini dilakukan di Wilmar Group PT.Sinar Alam Permai Palembang Sumatera Selatan, Jl. Sabar Jaya no 21 Desa Perajen. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan dari September 2021 sampai Februari 2022.

B. Variabel Penelitian

Variabel data yang diamati dalam penelitian yaitu konsep perancangan yang dibuat dengan data yang ada di lapangan berhasil dan nilainya aktual. Adapun variabel yang diamati pada penelitian ini yaitu:

- Pembacaan nilai $\cos \phi$ (ϕ)
- Tegangan (V)
- Dayaaktif (P)
- Arus perkapasitor (I_c)
- Running hours masing masing kapasitor

C. Prosedur Penelitian

Tahapan – tahapan dalam proses penelitian :

1) Studi Literatur

Studi literatur yang mana merupakan pencarian referensi teori dan jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini. Mencari informasi cara menganalisa dan komponen yang akan digunakan sehingga baik untuk digunakan. Melihat referensi dan berbagai forum yang berkaitan dengan sistem kendali, plc, hmi, penggunaan kapasitor, perancangan kontrol, komunikasi serial modbus dan hal-hal yang berkaitan.

2) Penentuan Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

Perangkat Lunak

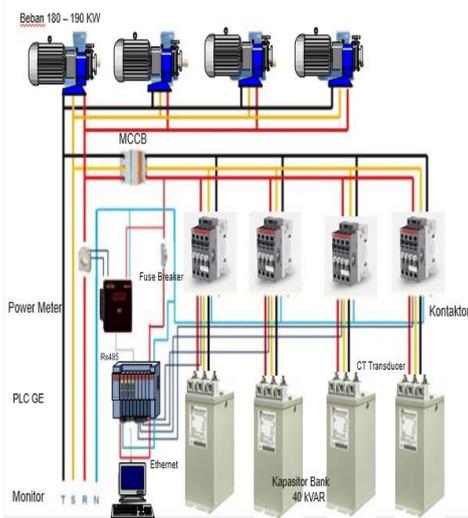
- Proficy Machine Edition 9.5
- HMI SCADA Cimplicity v.11

Bahan

- PLC GE (General Electric) (1 buah)
- Magnetic Kontaktor 100A (5 buah)
- MCB 5 A (5 buah)
- Fuse Holder Breaker (5 buah)
- Thermal Overload Relay (5 buah)
- Relay 24VDC 8 Channel (5 buah)
- Timer (5 buah)
- Modbus (MOXA mGate) (1 buah)
- Kapasitor bank (5 buah)
- MCCB (1 buah)
- CT digital Transducer (5 buah)
- Power Supply (1 buah)
- Power Meter (1 buah)

3) Perancangan Rangkaian

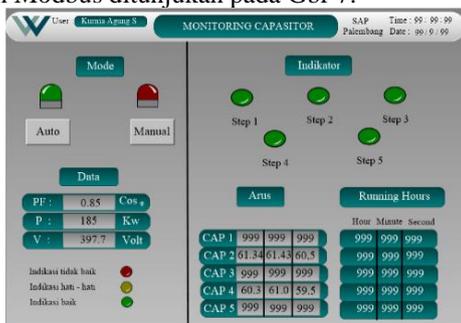
Perancangan Rangkaian dilakukan setelah menentukan semua alat dan bahan yang akan digunakan dalam membuat sistem kendali sehingga dapat diketahui dimana saja komponen yang diperlukan akan diletakkan dan juga dapat memberikan supply yang cukup sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen. Adapun perancangan alat ditunjukkan dalam rangkaian percobaan seperti pada Gbr 6.



Gbr 6. Rangkaian Percobaan Sistem Kontrol Kapasitor bank

4) Perancangan Software dan HMI

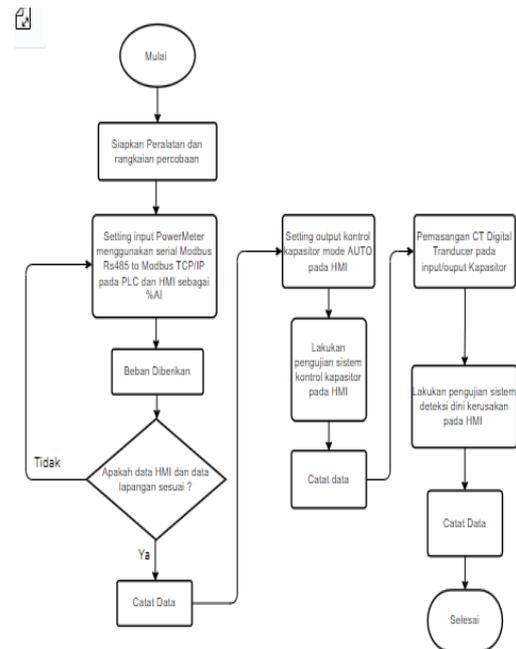
Pemrograman sistem kontrol kapasitor bank menggunakan metode rotary based dengan Programmable Logic Controller GE Series 90-30 /RCX3I menggunakan Ladder Block pada software Proficy Machine Edition, dimana program dari software Proficy Machine Edition kemudian di-upload ke PLC GE melalui kabel ethernet dan power meter diprogram sebagai analog input pada pembacaan power factor menggunakan serial komunikasi Modbus Rs485 to Modbus TCP/IP dengan addressing power factor, tegangan, daya aktif dan pembacaan running hours. Sedangkan CT digital transducer di setting untuk menampilkan masing – masing arus kapasitor di Human Machine Interface. Menggunakan moxa sebagai indikasi kerusakan dini kapasitor bank. Kemudian rancang HMI sesuai data yang akan ditampilkan berdasarkan addressing PLC dan Modbus ditunjukkan pada Gbr 7.



Gbr7. Tampilan Human Machine Interface Monitoring Kapasitor

5) Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dan Pengambilan data baru bisa dilakukan setelah rangkaian selesai dibangun dan juga semua kebutuhan untuk pengambilan data sudah terpenuhi. Pengujian sistem kontrol kapasitor menggunakan metode rotary based sebagai acuannya. Dengan modifikasi menambahkan pembacaan running hours dalam pengoperasiannya. Serta dapat memberikan sinyal data indikasi kerusakan dini masing masing kapasitor. Melakukan kajian dari beberapa penelitian sebelumnya untuk merancang konsep sistem kontrol kapasitor berbasis plc dengan menambahkan metode serta data pembacaan yang akurat. Prosedur pengujian terlampir dalam Gbr 8.



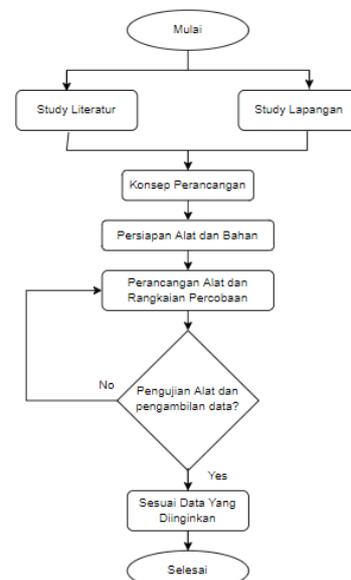
Gbr 8. Flowchart Prosedur Pengujian

6) Analisis

Adapun analisis untuk pengujian dari sistem kontrol dan deteksi dini kerusakan kapasitor bank yaitu menganalisis nilai pembacaan cos phi untuk mengetahui step per step kapasitor mana yang bekerja berdasarkan metode rotary based dan mengetahui nilai total kerja masing – masing kapasitor dari pembacaan running hours untuk pemeliharaan dan perawatan kapasitor. Sehingga efisiensi tetap terjaga.

7) Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil yaitu
 - Rancangan sistem kontrol dapat diaplikasikan dan berhasil memberikan pembacaan data yang akurat
 - Dapat mengetahui nilai efisiensi dari masing masing kapasitor sebagai indikasi kerusakan
 Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan diperlihatkan pada diagram alur yang ditunjukkan pada Gbr 9.



Gbr9. Flowchart Prosedur Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah sistem dirancang sudah dapat direalisasikan maka diperlukan pengujian apakah alat yang dirancang sudah memenuhi tujuan dari penelitian yang diharapkan. Pengujian ini meliputi pengujian pengiriman data, pengujian sistem kontrol kapasitor, dan pengujian deteksi dini kerusakan kapasitor.

A. Perancangan Sistem Kendali

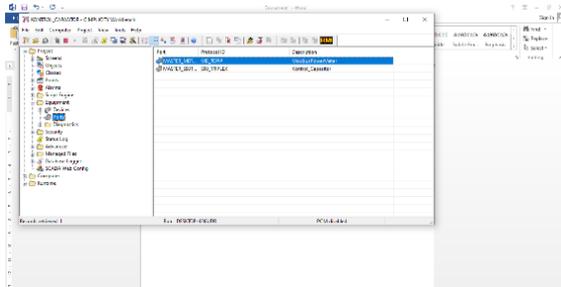
Perancangan sistem kendali yang dibuat adalah rangkaian kontrol kapasitor bank menggunakan plc sebagai pengontrol nilai faktor daya. Terdiri dari PLC GE Fanuc Series 90-30, Relay 220 AC, Kontaktor 100A, MCCB, Power Meter PM800 Schneider dan Moxa Mgate TB3100 ditunjukkan pada Gbr 10.



Gbr 10. Rangkaian Sistem Kendali Kontrol Kapasitor bank

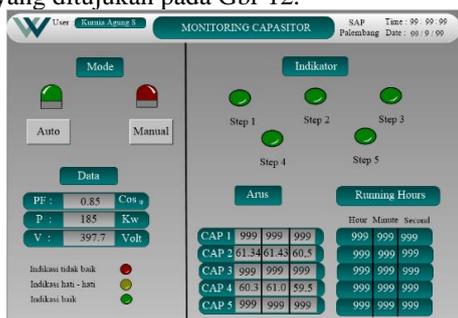
B. Perancangan HMI

Human Machine Interface (HMI) adalah antarmuka perangkat lunak antara mesin atau pabrik dan operator atau pengamat. Tujuan penggunaan HMI adalah untuk mengumpulkan dan menampilkan informasi dari proses di pabrik. HMI dapat dihubungkan langsung dengan PLC. Perancangan HMI menggunakan software HMI Cimplicity V.11. Perancangan HMI menggunakan software Cimplicity ditunjukkan pada Gbr 11.



Gbr 11. Pembuatan Port HMI Berdasarkan Jenis PLC dan ModBus

Setelah masing-masing point diisi berdasarkan addressing dan register data. Maka dilakukan penyesuaian data register dengan screen HMI yang telah dirancang. Seperti yang ditunjukkan pada Gbr 12.



Gbr12. Tampilan Screen HMI Dengan Addressing Data

Tampilan *screen* HMI memberikan data running hours untuk pembacaan sistem preventive maintenance yang dilakukan secara berkala. Ketika jam kerja dari masing – masing kapasitor bank telah memenuhi nilai set point yang ditentukan. Maka dalam jangka 3 bulan sekali lampu indikasi dan alarm akan menyala. Untuk menginformasikan kepada user agar segera melakukan maintenance berupa pengecekan dan pemeliharaan.

C. Pengujian Pengiriman Data

Pada pengujian ini akan melihat apakah monitor mampu menerima pembacaan data *power factor*, daya aktif dan arus yang dikirim oleh Power Meter PM800 dan dikonversi oleh Moxa Mgate TB3100 secara baik dan benar. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui keberhasilan pengiriman data power meter menggunakan instrumen Moxa Mgate TB3100.

Pembacaan data power meter merupakan masukan dari nilai pembanding faktor daya atau cos phi sebagai indikasi keberhasilan pengiriman data. Proses pengiriman data dilakukan melalui instrumen Moxa Mgate TB3100 sebagai alat komunikasi antar protocol Modbus RTU dan Modbus TCP/IP dan Software Modbus Poll untuk pengecekan keberhasilan pengiriman data. Data hasil percobaan yang didapatkan dari pengujian ini seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian Data HMI dan Lapangan

Variabel	HMI	Lapangan	Indikator
Cos phi	0,97	0,97	Berhasil
Daya	185 KW	184,56 KW	Berhasil
Arus	60,5	60,42	Berhasil

C. Pengujian Sistem Kontrol Kapasitor

Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui keberhasilan kerja PLC dalam mengontrol masing – masing dari kapasitor bank pada Panel Cooling Tower sesuai dengan rancangan pada Tabel 3.2. PLC digunakan untuk menjalankan program kontrol kapasitor bank menggunakan keluaran digital output pada relay 220V dengan data register *power factor* pada power meter sebagai masukannya. Untuk menjaga nilai faktor daya stabil Pengaplikasian PLC pada sistem kontrol ditunjukkan pada Gbr 13.



Gbr 13 Rangkaian Sistem Kontrol Kapasitor bank

Data hasil percobaan yang didapatkan dari pengujian kontrol kapasitor seperti yang ditunjukkan pada Tbl 2.

Tbl 2. Hasil Pengujian Data Kontrol Kapasitor

No	Kap1	Kap2	Kap3	Kap4	Kap5	Total Nilai $\cos \phi$
1	0	0	0	0	0	0.8
2	1	0	0	0	0	0.85
3	1	1	0	0	0	0.87
4	1	1	1	0	0	0.92
5	1	1	1	1	0	0.95
6	0	1	1	1	1	0.96
7	1	0	1	1	1	0.95
8	1	1	0	1	1	0.94
9	1	1	1	0	1	0.97

Dari data percobaan seperti pada Tbl 2, dapat disimpulkan bahwa nilai faktor daya atau $\cos \phi$ akan menyalakan masing - masing dari kapasitor *bank* untuk memenuhi total nilai $\cos \phi$ yang ditentukan yaitu 0.95 dan melakukan pemerataan masing- masing kerja dari kapasitor *bank* untuk menjalankan sistem preventive maintenance.

D Pengujian Sistem Deteksi Dini Kerusakan Kapasitor *bank*

Pada pengujian ini bertujuan untuk melakukan pembacaan data pada rangkaian pengujian deteksi dini kerusakan kapasitor *bank*. Untuk menjaga arus dari masing – masing kapasitor *bank* konstan, maka pembacaan arus yang masuk ke CE Digital Transducer diukur dan dipastikan bahwa arus yang dari kapasitor *bank* menuju rangkaian sebagai penyedia daya reaktif memiliki nilai yang sama. Nilai arus didapatkan melalui pengukuran menggunakan CE Digital Transducer sebagai pembacaan di HMI dan Clamp meter sebagai pembacaan langsung di lapangan pada beban 190 Kw dengan nilai arus rata 55A - 65 A. Maka dari itu rangkaian sistem deteksi dini kerusakan kapasitor *bank* terdiri atas CE Digital Transducer 4/20mA, Kapasitor *bank* dan Moxa Mgate TB digunakan sebagai pembacaan serta pengkonversi antar protokol Modbus RTU dan Modbus TCP/IP . Pengaplikasian rangkaian deteksi dini kerusakan kapasitor *bank* ditunjukkan pada Gbr 14.



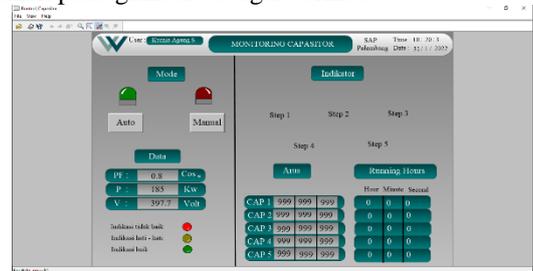
Gbr 14. Rangkaian Deteksi Dini Kerusakan Kapasitor *bank*

Data hasil percobaan yang didapatkan dari pengujian efisiensi kapasitor seperti yang ditunjukkan pada Tbl 3.

Tbl 3. Hasil Pengujian Efisiensi Kapasitor

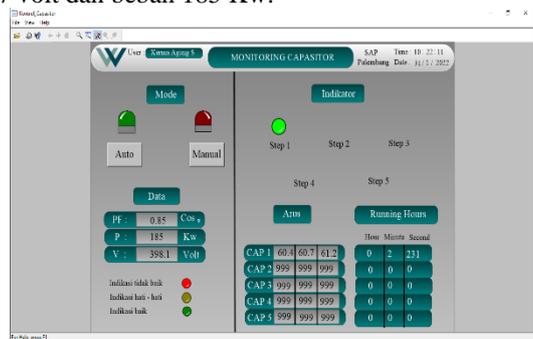
No	Instrument	Ic1 (A)	Ic2 (A)	Ic3 (A)	V (Volt)	Jam	Menit
1.	Kapasitor 1	60.40	60.70	61.20	393.7	0	15
2.	Kapasitor 2	61.34	61.43	60.50	395.3	0	17
3.	Kapasitor 3	60.30	61.00	59.50	398.9	0	11
4.	Kapasitor 4	58.20	58.40	61.20	398.9	0	10
5.	Kapasitor 5	60.30	61.30	61.00	398.9	0	6

Dari data percobaan seperti pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa nilai arus dari masing kapasitor berkisar 55A – 65 A. Merupakan pembacaan yang baik dan normal. Ketika pembacaan kurang dari 50 % arus normal. Maka indikasi alarm akan menyala menginformasikan terdapat kesalahan atau kerusakan pada rangkaian kapasitor *bank* seperti mccb rusak, kontaktor terbakar kapasitor *bank* yang meledak dan kerenggangan kabel pada rangkaian. Pengujian rangkaian sistem kontrol dan deteksi dini kerusakan kapasitor *bank* ditunjukkan pada gambar sebagai berikut.



Gbr15. Tampilan HMI Mode Manual

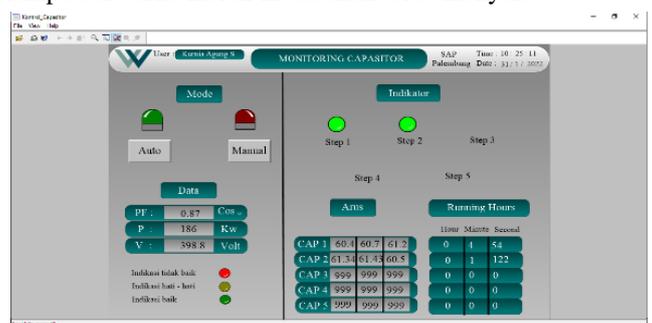
Pada Gbr 15 menunjukkan tampilan HMI dalam mode Manual atau program automation pada HMI tidak bekerja dengan masukan nilai *power factor* 0.8 dengan tegangan 397.7 volt dan beban 185 Kw.



Gbr 16. Pengujian Cos phi Kapasitor 1 ON

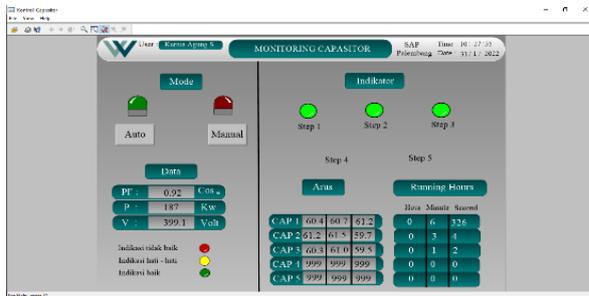
Pada Gbr 16 menunjukkan pengujian sistem kontrol kapasitor *bank* pada langkah step 1 dimana program akan menyalakan kapasitor *bank* pertama hingga memenuhi nilai set point yang telah ditetapkan. Pembacaan nilai *power factor* pada step 1 menghasilkan nilai 0.85 dan pembacaan masing – masing arus kapasitor *bank* satu yaitu, 60.4 A, 60.7 A, dan 61 A .

Ketika nilai *power factor* dibawah 0.95 maka program akan terus bekerja untuk menyalakan kapasitor *bank* step per step dan lampu indikasi tidak baik akan menyala. Adapun lampu indikasi tidak baik ketika nilai bernilai 0.8 – 0.9 maka lampu berwarna merah muda akan terus menyala.



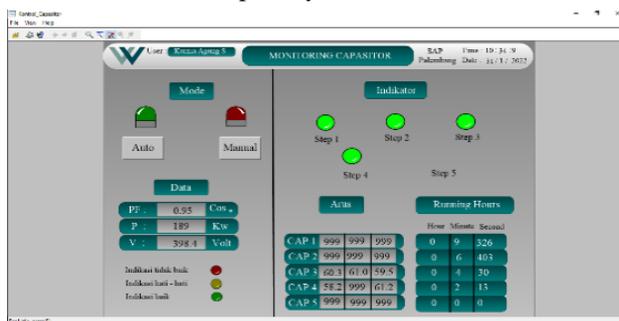
Gbr 17. Pengujian Cos Phi Kapasitor 1 dan 2 ON

Pada Gbr 17 dapat dilihat pengujian sistem kontrol kapasitor bank pada langkah step 2. Dimana terdapat 2 kapasitor bank yang telah bekerja pada beban 186 Kw, tegangan 398.8 V dan nilai *power factor* sebesar 0.87. Karena nilai *power factor* masih jauh dari nilai set point yang ditentukan maka program akan terus bekerja untuk memenuhi nilai set point. Dengan lampu indikasi tidak baik tetap menyala.



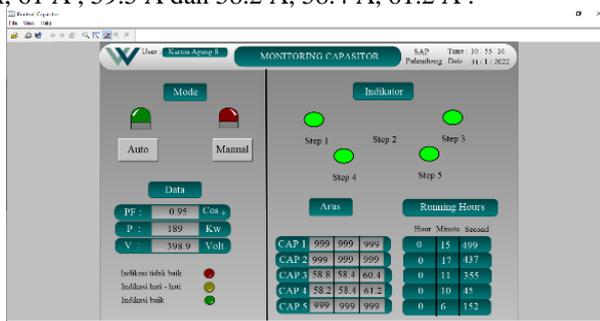
Gbr 18. Pengujian Cos Phi Kapasitor 1, 2 dan 3 ON

Gbr 18 menunjukkan pengujian sistem kontrol kapasitor bank pada langkah step 3. Terdapat 3 kapasitor bank yang telah bekerja pada beban 187 Kw, tegangan 399.1 V dan nilai *power factor* sebesar 0.92. Karena nilai *power factor* masih jauh dari nilai set point yang ditentukan maka program akan terus bekerja untuk memenuhi nilai set point. Dengan lampu indikasi tidak baik tetap menyala.



Gbr19 Pengujian Cos Phi Kapasitor 1, 2, 3, dan 4 ON

Pada Gbr 19 dapat dilihat pengujian sistem kontrol kapasitor bank pada langkah step 4. Dimana terdapat 4 kapasitor bank yang telah bekerja pada beban 189 Kw, tegangan 398.4 V dan nilai *power factor* sebesar 0.95. Karena nilai *power factor* sudah memenuhi nilai set point yang telah ditetapkan maka lampu indikasi hati-hati dan indikasi tidak baik tidak menyala. Program berhasil menyelesaikan tujuan dari perancangan HMI. Pembacaan arus dari masing – masing kapasitor bank 3 dan 4 yaitu 60.3 A, 61 A, 59.5 A dan 58.2 A, 58.4 A, 61.2 A .



Gbr 20 Pengujian Cos Phi Kapasitor 1,3,4 dan 5 ON

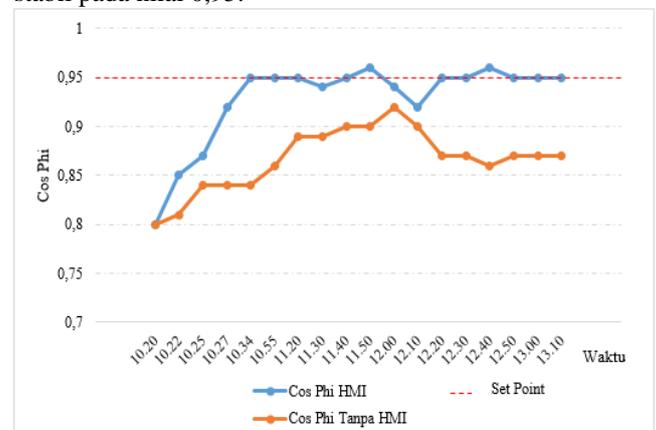
Gbr 20 menunjukkan pengujian sistem kontrol kapasitor bank pada langkah step 5. Terdapat 4 kapasitor bank yang

bekerja pada beban 189 Kw, tegangan 398.9 V dan pembacaan nilai *power factor* sebesar 0.95. Saat nilai cos phi masih belum stabil bahkan melebihi ≥ 1 maka sistem akan mematikan kapasitor bank yang telah bekerja lebih lama yaitu kapasitor bank kedua dan menyalakan kapasitor bank kelima/step 5 untuk memenuhi nilai set point yang disebabkan bervariasinya nilai beban induktif pada panel cooling tower. Karena nilai *power factor* sudah memenuhi nilai set point yang ditentukan maka sistem pada HMI lampu alarm indikasi tidak baik, tidak akan menyala.

E Perbandingan Dengan dan Tanpa HMI

HMI merupakan sebuah tampilan antar muka yang dapat memonitoring kapasitor bank. Dengan adanya sistem HMI memberikan kemudahan dalam memonitoring nilai *power factor* agar tetap stabil serta dapat mengatasi kerusakan dini kapasitor bank. Tujuan penggunaan HMI adalah untuk mengumpulkan dan menampilkan informasi dari proses di pabrik. HMI dapat dihubungkan langsung dengan PLC. Dapat melakukan perbaikan sistem preventive maintenance secara berkala dengan pembacaan data yang disediakan tampilan HMI. Memberikan data aktual secara real time. Dapat mengakses sistem pengendalian dan pendeteksi dini kerusakan kapasitor bank dengan jarak jauh.

Perbandingan nilai *power factor* atau cos phi dalam pengujian dapat dilihat pada Gbr 21. Ketika sistem dinyalakan maka pembacaan nilai dimulai dari 0 hingga naik menjadi 0,8. Nilai cos phi akan terus bertambah seiring berjalannya sistem kendali. Pada pukul 10.22 nilai cos phi naik menjadi 0,87 sampai pada pukul 13.00 nilai cos phi stabil pada nilai 0,95.



Gbr21. Kurva Perbandingan

V. KESIMPULAN

Rancangan sistem kontrol dapat diaplikasikan dan berhasil memberikan pembacaan data yang akurat. Dirancang menggunakan PLC GE Fanuc RCX3I , Relay, Moxa, Digital Transducer dan Power Meter. Ketika nilai cos phi < 0,95 maka program akan menyalakan kontak relay kontaktor kapasitor untuk menjaga nilai cos phi tetap stabil pada 0.95. Ketika nilai cos phi > 0,95 maka sistem akan mematikan kapasitor bank yang menyala terlebih dahulu atau kapasitor bank yang memiliki total kerja lebih lama. Dapat mengetahui nilai arus dari masing masing kapasitor sebagai indikasi kerusakan dan memberikan data pembacaan running hours untuk sistem preventive maintenance.

REFERENSI

- [1] D. Yuhendri, "Penggunaan PLC Se sebagai Pengontrol Peralatan Building Automatis," *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 3, hal. 121–127, 2018.
- [2] Zuhail, "Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya." hal. 264, 2000.
- [3] Y. Prasetyo, N. A. Hidayatullah, B. Artono, dan B. Danu S, "*Power factor* Correction Using Programmable Logic Control Based Rotary Method," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1845, no. 1, hal. 0–7, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1845/1/012045.
- [4] S. A.-E. S.-P. V. N. P. Sadat, "Power Factor Correction of Inductive Loads using PLC," no. December 2013, hal. 1–8, 2018.
- [5] E. Hendik, C. Yahya, dan S. Indhana, "Teknik Pengurangan Arus Inrush dan Pengurangan Harmonisa Pada Kapasitor *bank* Untuk Beban Non Linier," *Emitter*, vol. 1, no. 1, hal. 39–50, 2010.
- [6] M. I. Nasution, "Studi Analisis Pengaruh Penambahan Kapasitor *bank* pada Sistem Pembangkit PT PJB UBJO&M PLTU Paiton 9 dan Pengaruhnya pada Pola Operasi," hal. 108, 2017.
- [7] IEEE, "IEEE Standard 519-2014," *Ieee*, hal. 1–50, 2014.
- [8] T. P. Pawale, R. Motekar, R. L. Chakrasali, dan S. B. Halbhavi, "An experimental design approach for power factor correction using PLC," *Proc. 2017 Int. Conf. Smart Technol. Smart Nation, SmartTechCon 2017*, hal. 1155–1159, 2018, doi: 10.1109/SmartTechCon.2017.8358550.
- [9] MÄKIPÄÄ, Tuomas. GE Fanuc 90-30-sarjan logiikoiden testausohjelma. 2012
- [10] FANUC, G. E. Proficy HMI/SCADA–CIMPLICITY. Ge Fanuc Automation's catalogs, 2006, 1-36.

BIOGRAFI PENULIS



Kurnia Agung Syahputra, Lahir di Padang, 27 April 2000. Riwayat pendidikan S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Saat ini bekerja sebagai asisten Laboratorium Dasar Konversi Energi Listrik Departemen Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara.



Ferry Rahmat Astianta Bukit, Lahir di Medan, 17 September 1989. Riwayat Pendidikan S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara dan S2 Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik Elektro dan Informatika (STEI) Institut Teknologi Bandung. Saat ini bekerja sebagai Dosen di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara dengan focus keilmuan Konversi Energi, Material Teknik, dan Sistem Tenaga Listrik.



Suherman, menyelesaikan gelar pascasarjana dari RMIT Australia dan De Montfort University, Inggris pada tahun 2009 dan 2013 selanjutnya. Minat penelitiannya adalah dalam jaringan dan protokol, termasuk pembangkit listrik node menggunakan pemanenan dan energi terbarukan.