

## Perancangan Alat Praktikum Kompetensi Otomasi Industri di Laboratorium Jurusan Rekayasa Elektro

Slamet Widodo, Steven Daniel Kussoy, Julyar Prasetyo, Ryan Perdana Saputra

## Rancang Bangun Sistem peminjaman Peralatan Laboratorium Menggunakan Sidik Jari di Laboratorium Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda

Muhammad Rifky Fachreza, Marson Ady Putra, Rusda

## Implementasi Sistem Komunikasi Otomatis untuk Data Logger Sensor Salinitas di Sungai Wain Balikpapan dengan Solusi Reverse SSH Tunnel pada Lingkungan CGNAT

Agus Triyono, Fajerin Biabdillah

## Rancang Bangun Sistem Monitoring Listrik 3 Fasa dan Kendali On/Off Berbasis IoT di Perusahaan Umum Daerah Air Minum irta Taman Kota Bontang Indonesia

Ahmad Rido Wardana, Marson Ady Putra, Abdul Rahman

## Analisis Kestabilan Peralihan Akibat Pelepasan Beban pada sistem Tenaga Listrik PT. KPC Sangatta Menggunakan Metode tatic Under Frequency Load Shedding

Ahmad Rido Wardana, Marson Ady Putra, Abdul Rahman

## KATA PENGANTAR

Ucapan syukur dikirimkan ke hadirat Allah SWT atas terbitnya jurnal PoliGrid volume 7 nomor 1. Ucapan terima kasih sebesar-besarnya disampaikan kepada para *author* yang telah memberikan kepercayaan dengan mengirim artikel-artikelnya dan kepada mitra bestari (*reviewer*) yang telah bersedia melakukan proses *review* di tengah kesibukan yang ada.

Dengan kembali dikirimnya artikel-artikel dari luar Politeknik Negeri Samarinda, yang bagi tim editor menunjukkan adanya tingkat kepercayaan yang semakin tinggi, maka perbaikan-perbaikan untuk meningkatkan kualitas Poligrid akan terus dilakukan walau terdapat tantangan di sana-sini. Perbaikan yang dilakukan sepanjang tahun 2026, serta modal jumlah sitasi yang terus bertambah, diharapkan dapat dapat membawa Poligrid pada akreditasi yang lebih tinggi, ketika diusulkan pada tahun 2027 nanti.

Pada terbitan kali ini, tulisan-tulisan yang ada didominasi oleh teknologi *internet of things* (IoT) dan otomasi, Ini menunjukkan peningkatan kegunaan kedua teknologi tersebut di bidang kelistrikan yang merupakan *core* dari Poligrid. Semoga materi-materi tersebut dapat memberikan insight baru dari pengalaman-pengalaman yang disampaikan oleh para penulis.

## **DEWAN REDAKSI**

- Pelindung : Direktur Politeknik Negeri Samarinda
- Penasehat : Wakil Direktur I  
Wakil Direktur II  
Wakil Direktur III
- Penanggung jawab : Kepala P3M
- Pengarah : Ketua Jurusan Teknik Elektro
- Ketua Penyunting : Ir. Prihadi Murdiyat, M.T., Ph. D.  
Politeknik Negeri Samarinda
- Anggota Penyunting : Rusda, S.T., M.T.  
Politeknik Negeri Samarinda  
Prof. Dr. Hakkun Elmunsyah, S.T., M.T.  
Universitas Negeri Malang  
Restu Mukti Utomo, S.T., M.T.  
Universitas Mulawarman  
Marson Ady Putra, S.ST., M.T.  
Politeknik Negeri Samarinda  
Muhammad Agung Nursyeha, S.T., M.T.  
Institut Teknologi Kalimantan  
  
Bella Cahya Ningrum, S.Tr.T., M.Tr.T.  
Politeknik Negeri Samarinda
- Mitra Bestari : Prof. Dr. Ir. Era Purwanto, M. Eng.  
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Prof. Novie Ayub Windarko, S.T., M.T., Ph. D.  
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Herman Yuliandoko, S.T., M.T.  
Politeknik Negeri Banyuwangi  
Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.  
Universitas Brawijaya Malang  
Ir. Nur Alif Mardiyah, M.T.  
Universitas Muhammadiyah Malang

Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M. Eng. Sc., Ph.D.  
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Dr. Ir. Ermanu Azizul Hakim, M.T.  
Universitas Muhammadiyah Malang

Happy Aprillia, S.ST., M.T., M.Eng., Ph.D.  
Institut Teknologi Kalimantan

Riza Hadi Saputra, S.T., M.T.  
Institut Teknologi Kalimantan

Andhika Giyantara, S.T., M.T.  
Institut Teknologi Kalimantan

Sujito, S.T., M.T., Ph.D.  
Universitas Negeri Malang

Aji Akbar Firdaus, ST., MT.  
Universitas Airlangga

Dr. Ir. Rahman Azis Prasajo, S.ST., MT.  
Politeknik Negeri Malang

Ir. Mohammad Noor Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D.  
Politeknik Negeri Malang

Pangestuningtyas Diah Larasati, S.T., M.T.  
Politeknik Negeri Semarang

Yanuar Mahfudz Safarudin, S.T., M.T.  
Politeknik Negeri Semarang



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

DEWAN REDAKSI

DAFTAR ISI

|                                                                                                                                                                                                                       | Halaman |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Perancangan Alat Praktikum Kompetensi Otomasi Industri di Laboratorium Jurusan Rekayasa Elektro</b><br>Slamet Widodo, Steven Daniel Kussoy, Julyar Prasetyo, Ryan Perdana Saputra                                  | 1 - 14  |
| <b>Rancang Bangun Sistem peminjaman Peralatan Laboratorium Menggunakan Sidik Jari di Laboratorium Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda</b><br>Muhammad Rifky Fachreza, Marson Ady Putra, Rusda                  | 15 - 21 |
| <b>Implementasi Sistem Komunikasi Otomatis untuk Data Logger Sensor Salinitas di Sungai Wain Balikpapan dengan Solusi Reverse SSH Tunnel pada Lingkungan CGNAT</b><br>Agus Triyono, Fajerin Biabdillah                | 22 - 29 |
| <b>Rancang Bangun Sistem Monitoring Listrik 3 Fasa dan Kendali On/Off Berbasis IoT di Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Taman Kota Bontang Indonesia</b><br>Ahmad Rido Wardana, Marson Ady Putra, Abdul Rahman   | 30 - 40 |
| <b>Analisis Kestabilan Peralihan Akibat Pelepasan Beban pada Sistem Tenaga Listrik PT. KPC Sangatta Menggunakan Metode Static Under Frequency Load Shedding</b><br>Ahmad Rido Wardana, Marson Ady Putra, Abdul Rahman | 41 - 49 |

# Perancangan Alat Praktikum Kompetensi Otomasi Industri di Laboratorium Jurusan Rekayasa Elektro

Slamet Widodo<sup>1</sup>, Steven Daniel Kussoy<sup>2</sup>, Julyar Prasetyo<sup>3</sup>, Ryan Perdana Saputra<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Rekayasa Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan

slamet.widodo@poltekba.ac.id

**Abstrak**-Laboratorium Jurusan Rekayasa Elektro Politeknik Negeri Balikpapan memiliki peralatan hidrolik yang digunakan sebagai representasi sarana pembelajaran teknologi hidrolik di dunia industri. Namun peralatan hidrolik yang tersedia masih mengandalkan pengaplikasian kontrol yang masih manual atau mekanis menggunakan relay dan saklar konvensional. Sedangkan ada beberapa mata kuliah saat praktikum teknologi hidrolik perlu ada sistem kontrol hidrolik secara otomasi yang diprogram menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)* dan menampilkan di *Human Machine Interface (HMI)* yang sangat digunakan di dunia industri. Dengan kekurangan alat tersebut peneliti akan merancang Alat Praktikum Kompetensi Otomasi Industri di Laboratorium Jurusan Rekayasa Elektro dengan menambahkan modul tambahan pada alat yang ada yaitu perangkat PT 070210EC *Basic Electro Hydraulic Training System*. Hasil dari penelitian ini telah berhasil dilakukan integrasi Modul PLC dan HMI yang dirancang dengan peralatan hidrolik yang sudah ada, ini dibuktikan dengan telah dilakukan berbagai percobaan yang salah satunya pembuatan program otomasi industri pengepresan otomatis berbasis PLC dan HMI. Dengan cara kerja mampu mendeteksi jenis benda kerja melalui sensor: benda logam akan menahan tekanan selama 5 detik dan benda nonlogam selama 3 detik, dengan mode pengepresan *Partial Press* dan *Full Press*. Hasil pengujian menunjukkan seluruh fitur bekerja 100% sesuai rancangan dan program yang dikirim, sistem berjalan stabil dan responsif sehingga alat ini sudah dapat digunakan sebagai media pembelajaran interaktif untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep dan penerapan otomasi industri pada sistem hidrolik.

**Kata Kunci** : Elektro-Hidrolik, PLC, HMI

## I. PENDAHULUAN

Laboratorium digunakan sebagai sarana belajar mahasiswa dalam meningkatkan kompetensi. Kompetensi merupakan salah satu elemen penting dalam menentukan kualitas sumber daya manusia terutama dalam menghadapi tantangan di era revolusi industri 4.0 yang serba mengandalkan teknologi dan kecepatan [1].

Dengan perkembangan teknologi industri yang semakin pesat, kebutuhan akan sumber daya manusia yang kompeten di bidang otomasi juga semakin tinggi. Oleh karena itu, alat praktikum yang relevan dan sesuai dengan kebutuhan industri menjadi suatu keharusan agar mahasiswa dapat memperoleh pengalaman belajar yang aplikatif dan meningkatkan keterampilan teknis mereka.

Perkembangan teknologi industri 4.0 mendorong percepatan transformasi sistem konvensional menuju otomasi

berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)* dan *Human Machine Interface (HMI)*. PLC berperan sebagai otak pengendali proses produksi, sedangkan HMI memfasilitasi interaksi antara operator dan mesin melalui antarmuka visual. Integrasi kedua teknologi ini telah menjadi standar di industri [2], [3], [4], [5].

Laboratorium Jurusan Rekayasa Elektro Politeknik Negeri Balikpapan mempunyai peralatan laboratorium, salah satunya *Basic Electro Hydraulic Training System*. Namun, perangkat ini masih mengandalkan kontrol manual menggunakan relay dan saklar konvensional, sehingga belum mampu mensimulasikan prinsip otomasi industri berbasis PLC dan HMI. Padahal, kompetensi dalam merancang sistem kontrol otomatis menjadi kebutuhan krusial bagi lulusan teknik elektronika di era industri 4.0 yang telah diimplementasikan secara luas di industri dan institusi pendidikan [6]. Sebagai contoh, penelitian oleh Imnadir dan Zai dalam Buletin Utama Teknik Universitas Islam Sumatera Utara berjudul "Penerapan PLC HMI untuk Monitoring Objek pada Sistem Pengisian Minuman ke Dalam Botol" menunjukkan integrasi PLC dan HMI untuk mensimulasikan proses industri pengisian botol dengan akurasi waktu hingga 2 detik. Studi ini membuktikan sistem terotomasi berbasis PLC dan HMI meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas proses produksi [7]. Di sisi industri, PT Gajah Tunggal Tbk. telah mengadopsi kontrol PLC-HMI pada sistem kompresor untuk mengurangi lonjakan arus saat start-up, yang sebelumnya dilakukan secara manual. Implementasi ini berhasil menghemat daya dan mempermudah supervisi operasi [8]. Pada praktik di perguruan tinggi lain seperti Universitas Pamulang. Angga Septian MN dalam jurnal Informatika Universitas Pamulang merancang trainer HMI berbasis *CX-Designer* untuk pembelajaran PLC, yang meningkatkan pemahaman mahasiswa dalam pemrograman sistem industri [2]. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara fasilitas praktikum di Jurusan Rekayasa Elektro POLTEKBA dengan kebutuhan kompetensi otomasi industri 4.0. Oleh karena itu, penelitian akan merancang sistem kontrol berbasis PLC dan HMI yang terintegrasi pada perangkat PT 070210EC *Basic Electro Hydraulic Training System* sehingga memudahkan untuk praktek di beberapa mata kuliah di Jurusan Rekayasa Elektro yang mempunyai materi penerapan sistem kontrol otomasi pada peralatan hidrolik dan juga dapat digunakan sebagai alat uji untuk Sertifikasi Kompetensi untuk Mahasiswa Jurusan Rekayasa Elektro dengan skema BNSP *Automation Maintenance Junior Engineer* [4],[5],[14].

Submitted: 02/12/2025; Revised: 29/12/2025;

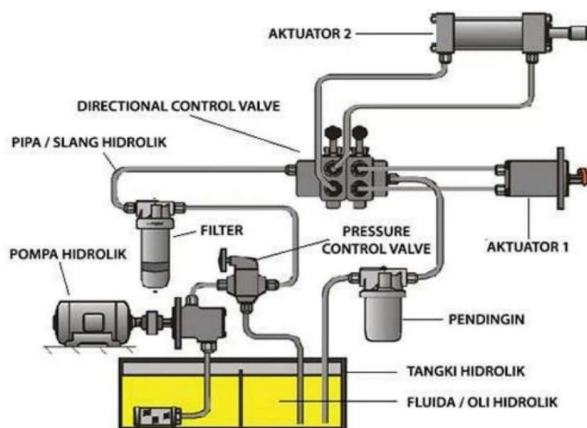
Accepted: 04/01/2026; Online first: 10/02/2026

<https://doi.org/10.46964/poligrid.v7i1.168>

## II. LANDASAN TEORI

### A. Sistem Hidrolik

Sistem hidrolik merupakan salah satu bentuk sistem tenaga fluida yang menggunakan zat cair, umumnya oli, sebagai media transmisi tenaga untuk menghasilkan gerakan mekanik baik translasi maupun rotasi. Prinsip dasar kerja sistem ini merujuk pada hukum Pascal yang menyatakan bahwa tekanan yang diberikan kepada suatu fluida dalam ruang tertutup akan diteruskan secara merata ke segala arah tanpa perubahan kekuatan [10].



Gambar 1. Sirkuit hidrolik

Dalam dunia industri modern, sistem hidrolik dimanfaatkan secara luas karena kemampuannya untuk memberikan tenaga besar dengan presisi dan kontrol yang tinggi. Sistem ini memiliki peran penting dalam berbagai aplikasi seperti mesin produksi, alat berat, otomasi industri, serta alat-alat militer. Sistem hidrolik terdiri atas berbagai komponen utama seperti pompa, aktuator, tangki hidrolik, katup kontrol, dan sistem filtrasi [10].

### B. Komponen Utama Sistem Hidrolik

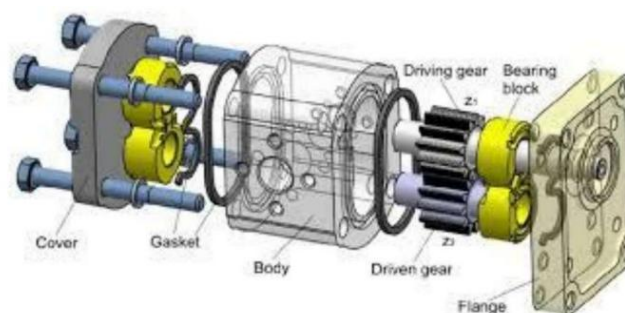
#### 1) Pompa Hidrolik

Pompa hidrolik adalah komponen utama yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi fluida. Fungsinya adalah untuk menghisap fluida dari tangki dan mendorongnya ke dalam sistem dengan tekanan tertentu. Fluida yang digunakan umumnya berupa oli hidrolik. Siklus kerja pompa akan menciptakan tekanan dan aliran fluida yang diperlukan untuk menggerakkan aktuator atau perangkat penggerak lainnya dalam sistem. Sistem hidrolik bersifat sirkulatif, di mana oli yang digunakan akan kembali ke tangki setelah digunakan, menjadikannya sistem tertutup [10].

Terdapat beberapa jenis pompa hidrolik, seperti pompa roda gigi (*gear pump*), pompa sirip burung, pompa torak aksial, pompa torak radial, pompa sekrup, dan pompa vane. Masing-masing pompa memiliki prinsip kerja yang berbeda dan digunakan sesuai dengan kebutuhan tekanan dan kapasitas sistem. Misalnya, pompa torak radial mampu menghasilkan tekanan tinggi hingga 63 MPa, sehingga cocok untuk aplikasi

yang membutuhkan gaya besar. Sementara pompa roda gigi lebih sederhana dan banyak digunakan pada sistem dengan tekanan sedang [10].

Pada perangkat *Hydraulic Trainer* yang terdapat di Laboratorium 205, Gedung Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan, digunakan jenis pompa roda gigi (*gear pump*) sebagai sumber utama tekanan hidrolik. Pompa jenis ini memiliki desain yang sederhana, mudah dirawat, dan cocok untuk kebutuhan pelatihan dasar sistem hidrolik. Pompa ini bekerja dengan prinsip dua roda gigi yang berputar saling mengunci. Ketika roda gigi berputar, fluida terjebak di antara gigi dan dinding rumah pompa, kemudian terbawa ke sisi tekan dan terdorong keluar dengan tekanan yang konstan.



Gambar 2. Pompa hidrolik roda gigi

*Gear pump* memiliki karakteristik sebagai pompa berpemindahan tetap (*fixed displacement*), artinya volume fluida yang dipindahkan per satuan waktu selalu tetap selama kecepatan putaran pompa konstan. Meskipun tidak dapat menghasilkan tekanan setinggi pompa torak, *gear pump* sangat andal untuk sistem hidrolik skala kecil hingga menengah, serta cocok untuk tujuan edukatif karena mudah diamati dan dipahami prinsip kerjanya. Keunggulan lainnya adalah biaya yang relatif rendah, dan kemampuan bekerja secara kontinyu dengan tingkat kebisingan yang minim [10].

#### 2) Aktuator

Aktuator merupakan komponen yang mengubah energi hidrolik menjadi energi mekanik. Aktuator dapat berupa silinder hidrolik yang menghasilkan gerakan linier atau motor hidrolik yang menghasilkan gerakan rotasi. Aktuator ini digunakan untuk menggerakkan berbagai komponen mesin seperti penjepit, pengangkat, atau penggeser dalam proses manufaktur. Dalam praktik industri, aktuator hidrolik dipilih karena kemampuannya menghasilkan torsi dan gaya yang besar dengan kecepatan yang dapat dikontrol secara presisi. Selain itu, karena karakteristik fluida yang tak bisa dimampatkan, aktuator hidrolik juga memberikan kestabilan dalam pengendalian gerak. Aktuator juga bisa dikombinasikan dengan sistem kontrol otomatis menggunakan sensor atau PLC untuk membentuk sistem kendali cerdas [10].

#### 3) Silinder Hidrolik

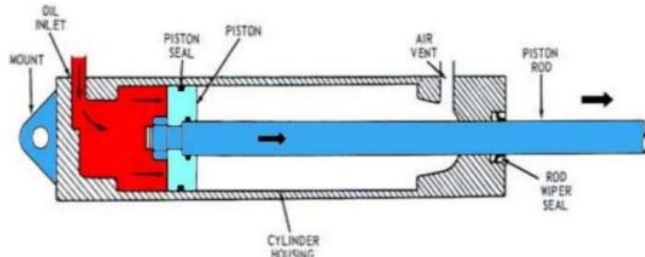
Silinder hidrolik adalah bagian dari aktuator yang menghasilkan gerakan linier. Komponen ini terdiri dari tabung

Submitted: 02/12/2025; Revised: 29/12/2025;

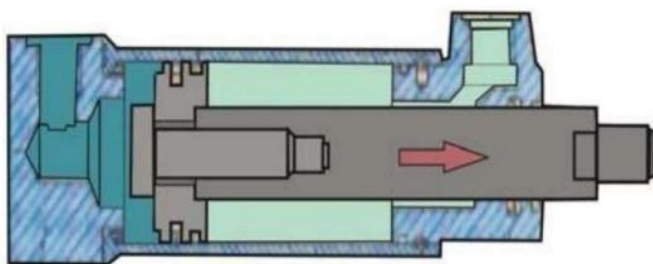
Accepted: 04/01/2026; Online first: 10/02/2026

<https://doi.org/10.46964/poligrid.v7i1.168>

silinder, piston, batang piston, dan seal. Saat oli bertekanan masuk ke salah satu sisi piston, maka piston akan terdorong dan menggerakkan batang piston ke arah tertentu. Gerakan maju dan mundur dari batang piston inilah yang digunakan untuk melakukan pekerjaan mekanik seperti mengangkat, menekan, atau mendorong beban [10].



Gambar 3. Silinder *single acting*

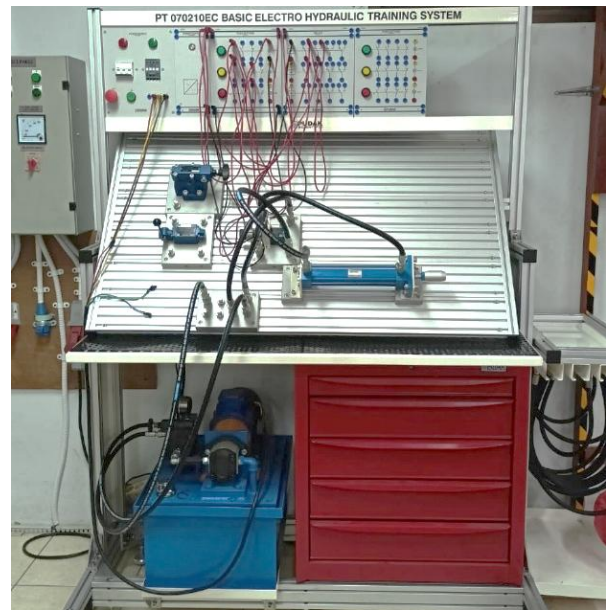


Gambar 4. Silinder *double acting*

Terdapat dua tipe utama silinder hidrolik, yaitu *single acting cylinder* yang hanya menghasilkan gaya dalam satu arah, dan *double acting cylinder* yang mampu bergerak maju dan mundur dengan tekanan fluida di kedua sisi piston. Double acting cylinder lebih fleksibel dan banyak digunakan pada aplikasi industri. Desain silinder juga memperhatikan sistem seal dan ventilasi agar oli tidak bocor serta memungkinkan pergerakan piston yang halus dan efisien [10]. Kedua jenis ini umum digunakan pada sistem hidrolik alat berat maupun sistem pelatihan hidrolik (*hydraulic training system*) untuk simulasi.

#### 4) Hydraulic Trainer

*Hydraulic Trainer* adalah perangkat pelatihan yang dirancang untuk memberikan pengalaman praktis dalam memahami prinsip kerja sistem hidrolik, memungkinkan pengguna untuk merancang, membangun, dan menguji berbagai rangkaian hidrolik mulai dari yang dasar hingga kompleks. Beberapa *Hydraulic Trainer* juga dilengkapi dengan kontrol berbasis PLC dan HMI, sehingga memungkinkan simulasi dan kontrol otomatis sesuai perkembangan teknologi industri. Umumnya digunakan dalam pendidikan teknik dan pelatihan industri, *Hydraulic Trainer* membantu pengguna memahami prinsip dasar dan lanjutan sistem hidrolik, mempelajari konstruksi dan fungsi komponen, merancang serta menguji rangkaian sesuai kebutuhan aplikasi nyata, dan mengembangkan keterampilan *troubleshooting* sistem hidrolik [11].



Gambar 5. PT 070210EC Basic Electro Hydraulic Training System

Salah satu contoh *Hydraulic Trainer* adalah PT 070210EC *Basic Electro Hydraulic Training System* yang tersedia di Lab 205 Gedung Elektro, Politeknik Negeri Balikpapan. Perangkat ini dilengkapi dengan berbagai komponen hidrolik dan elektrohidrolik yang mencerminkan peralatan industri nyata, sehingga memberikan pengalaman belajar yang mendekati kondisi lapangan. Penggunaan *Hydraulic Trainer* ini memungkinkan mahasiswa untuk memahami interaksi antara komponen mekanik dan elektronik dalam sistem kontrol industri. Dengan demikian, perangkat ini menjadi alat yang efektif dalam mengembangkan keterampilan praktis dan pemahaman teoritis mengenai sistem hidrolik dan elektrohidrolik.

#### 5) Programmable Logic Controller (PLC)

*Programmable Logic Controller* (PLC) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengganti rangkaian sederetan relay yang dijumpai pada sistem kontrol proses konvensional, PLC bekerja dengan cara mengamati masukan (melalui sensor-sensorterkait), kemudian melakukan proses dan melakukan tindakan sesuai yang dibutuhkan, yang berupa menghidupkan atau mematikan keluarannya (logika, 0 atau 1, hidup atau mati) [16].



Gambar 6. PLC Omron



PLC yang digunakan dalam penelitian ini adalah Omron CP1E-NA20DR-A. PLC ini memiliki catu daya sebesar 100 hingga 240 VAC dengan jumlah 12 input (termasuk 2 input analog bawaan) dan 8 output (termasuk 1 output analog bawaan) yang bertipe relay. Kapasitas program dari PLC ini mencapai 8K steps, sedangkan kapasitas memori datanya sebesar 8K words. PLC ini juga dilengkapi dengan catu daya eksternal 24 VDC sebesar 0,30 A. Untuk konsumsi arus, pada tegangan 5V sebesar 0,18 A, dan pada 24V sebesar 0,11 A [15]. Dengan spesifikasi ini, Omron CP1E-NA20DR-A sangat cocok digunakan dalam aplikasi kontrol sederhana hingga menengah yang membutuhkan keandalan dan fleksibilitas tinggi.

TABEL 1  
SPESIFIKASI PLC OMRON CP1E-NA20DR-A

| No | Spesifikasi           | Keterangan                          |
|----|-----------------------|-------------------------------------|
| 1. | Power Supply          | 100 hingga 240 VAC                  |
| 2. | Jumlah Input          | 12 (termasuk 2 input analog bawaan) |
| 3. | Jumlah Output         | 8 (termasuk 1 input analog bawaan)  |
| 4. | Tipe Output           | Relay                               |
| 5. | Kapasitas Program     | 8K Steps                            |
| 6. | Kapasitas Memori Data | 8K Words                            |
| 7. | Catu Daya Eksternal   | 24 VDC, 0.30 A                      |
| 8. | Konsumsi Arus 5V      | 0.18 A                              |
| 9. | Konsumsi Arus 24V     | 0.11 A                              |

#### 6) Human Machine Interface (HMI)

HMI adalah unit control terpusat untuk fasilitas manufaktur yang dilengkapi dengan penerima data, *event logging*, *video feed*, pemicu. HMI digunakan untuk mengakses sistem setiap saat untuk berbagai tujuan, misalnya untuk menampilkan kesalahan mesin, menampilkan status proses, menampilkan jumlah produk, dan tempat dimana user melakukan pengendalian mesin yang ada pada *plant*. Penggunaan HMI memiliki beberapa keuntungan, misalnya penggunaan kode warna sehingga memudahkan identifikasi, penggunaan ikon atau Gambar sehingga mudah dikenali, dan layar yang dapat diubah-ubah sehingga memungkinkan untuk pembuatan level akses masuk ke sistem [17].



Gambar 7. HMI Haiwell

Pada penelitian ini, HMI yang digunakan adalah Haiwell C7S. HMI ini memiliki layar 7 inci jenis TFT dengan resolusi 800x480 piksel, mampu menampilkan 16,7 juta warna dengan Submitted: 02/12/2025; Revised: 29/12/2025; Accepted: 04/01/2026; Online first: 10/02/2026 <https://doi.org/10.46964/poligrid.v7i1.168>

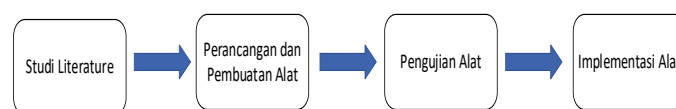
tingkat kecerahan 300 cd/m<sup>2</sup> dan rasio kontras 800:1, serta menggunakan layar sentuh resistif. HMI ini menggunakan backlight LED dengan umur pemakaian hingga 20.000 jam dan mendukung mode automatic dormancy yang dapat dikonfigurasi. Untuk manajemen sistem, HMI ini didukung oleh software Haiwell Cloud SCADA. Pada sisi memori, perangkat ini dilengkapi Flash 4GB dan RAM 512MB. Pada port konektivitasnya, dilengkapi slot microSD, dukungan jaringan 4G, port Ethernet 10/100 Base-T, COM port RS232/RS485, serta dua port USB2.0. Konsumsi daya HMI ini sebesar 7W dengan catu daya input 24±20% VDC, serta ketahanan terhadap tegangan dan getaran yang tinggi. Dari segi lingkungan operasi, HMI Haiwell C7S dilengkapi dengan perlindungan IP65, tahan suhu operasi antara -10°C hingga 60°C, dan kelembapan relatif 10–90%RH tanpa kondensasi [12].

TABEL 2  
SPESIFIKASI HMI HAIWELL C7S

| No | Speksifikasi           | Keterangan                                                                                                                                                     |
|----|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Display                | 7" TFT, 800x480 pixels, 16.7M Colors, Brightness 300 cd/m <sup>2</sup> , Contrast Ratio 800:1, Resistive Touch LED, Life Time 20,000 Hours, Automatic Dormancy |
| 2. | Backlight              | Support                                                                                                                                                        |
| 3. | Software               | Haiwell Cloud SCADA                                                                                                                                            |
| 4. | Memory                 | Flash 4GB, RAM 512MB                                                                                                                                           |
| 5. | I/O Port               | Micro SD Slot Support, 4G SIM Support, Ethernet 10/100 Base-T, RS485/RS232 COM Port, USB2.0 x2, USB/COM Print Port                                             |
| 6. | Power                  | Input 24±20% VDC, Power Consumption 7W, Voltage Resistance 500VAC, Isolation >50MΩ @500VDC, Vibration Endurance 10–25 Hz (X, Y, Z) 2G/30 minutes               |
| 7. | Environment            | Natural Cooling, IP65 Protection, Storage Temp -2070°C, Operating Temp -1060°C, Humidity 10–90%RH                                                              |
| 8. | Physical Specification | ABS Enclosure, Dimensions 200x146x37mm, Panel Cutout 193x138mm, Weight 0.8kg                                                                                   |
| 9. | Network                | WiFi 802.11b/g/n, Wireless 4G/3G/2G                                                                                                                            |

### III. METODE PENELITIAN

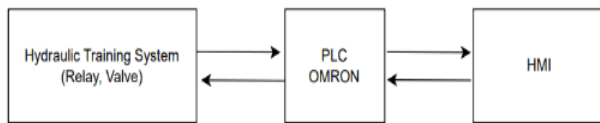
Metode yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 4 tahapan yaitu studi literatur, perancangan dan pembuatan alat, pengujian alat, dan implementasi alat.



Gambar 8. Metode penelitian

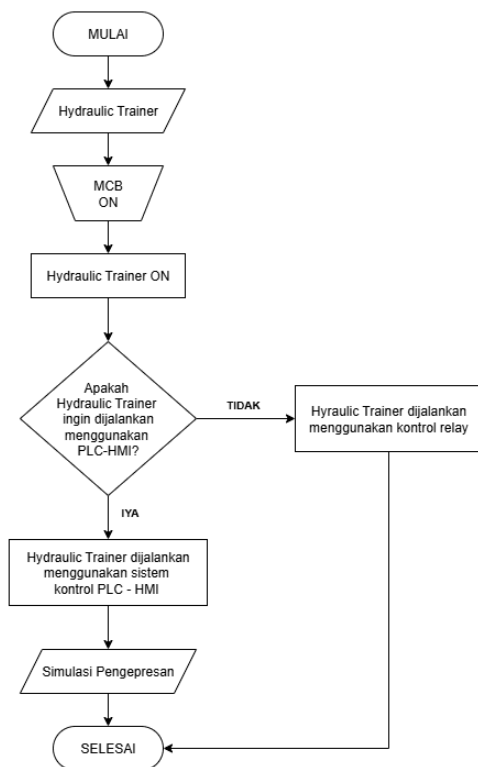
### A. Perancangan Sistem Alat

Berikut blok diagram Perancangan Alat Praktikum Kompetensi Otomasi Industri Di Laboratorium Jurusan Rekayasa Elektro dapat dilihat pada [Gambar 9](#) dibawah ini.



Gambar 9. Blok diagram perancangan alat praktikum kompetensi otomasi industri

Komponen yang berfungsi sebagai input adalah saklar, relay, dan sensor. Komponen ini akan memberikan sinyal ke PLC sebagai respon dari kondisi sistem. PLC berfungsi sebagai pusat kontrol atau otak dari sistem. PLC menerima input dari *Basic Hydraulic Training System*, memproses logika kontrol yang telah diprogram, dan mengirim sinyal output untuk mengatur kerja *valve* atau relay [11]. Komponen output pada sistem ini adalah *valve* dan relay yang dikendalikan oleh PLC. Komponen ini mengatur aliran hidrolik sesuai perintah yang diberikan melalui program PLC. HMI (*Human Machine Interface*) berfungsi sebagai layar monitoring dan pengendali. Operator dapat mengawasi kondisi sistem (misalnya status *valve*, tekanan, dll) dan juga memberikan perintah (seperti *start* atau *stop* atau pilih mode otomatis atau manual) melalui HMI. HMI dan PLC berkomunikasi dua arah, di mana HMI mengirimkan perintah ke PLC, dan PLC mengirimkan data status sistem kembali ke HMI.



Gambar 10. Flowchart Rangkaian Sistem Kontrol Berbasis PLC dan HMI pada *Hydraulic Training System*

Submitted: 02/12/2025; Revised: 29/12/2025;

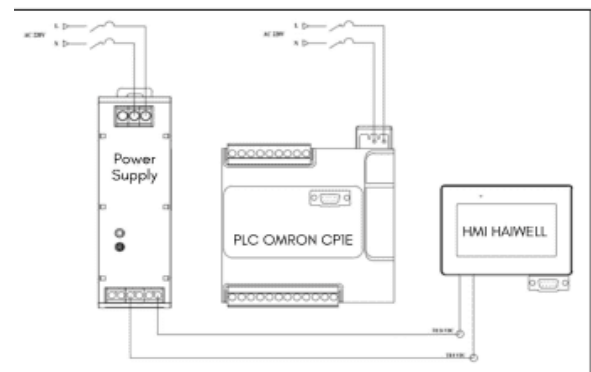
Accepted: 04/01/2026; Online first: 10/02/2026

<https://doi.org/10.46964/poligrd.v7i1.168>

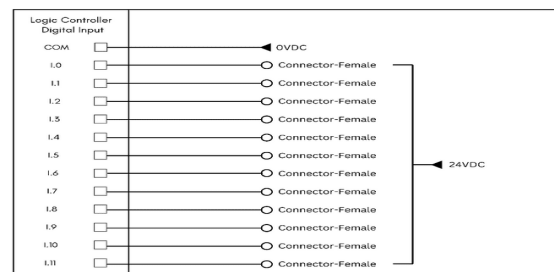
Dalam pengoperasian peralatan hidrolik trainer ini semula hanya ada 1 mode yaitu basik hidrolik (manual) setelah kami mengupgrade alat laboratorium ini akan memiliki 2 mode yaitu basik hidrolik (manual) dan elektro hidrolik (menggunakan PLC+HMI). Dalam mode manual, operator mengendalikan langsung dengan menekan tombol atau mengaktifkan relay untuk buka atau tutup katup, nyalakan atau matikan pompa dan tidak ada intervensi PLC atau HMI. Setelah tugas manual selesai, *flowchart* langsung ke Selesai. Namun berbeda dengan kendali manual, kendali elektro hidrolik, inisialisasi dilakukan oleh PLC dan HMI, yaitu PLC melakukan *self check* dan memuat program kontrol sementara HMI menampilkan tampilan awal. User dapat memasukkan parameter. *Loop* Kontrol, PLC akan terus-menerus membaca sinyal dari sensor (tekanan, aliran, posisi), memproses logika kontrol sesuai program yang telah dibuat, mengirimkan perintah ke aktuatur (pompa dan katup), dan memperbarui tampilan status serta grafik di HMI secara real time. Siklus baca-proses-tulis ini berulang terus hingga user menekan “*Stop*” pada HMI, pada saat itu PLC mematikan semua output dan alur kontrol berakhir. Setelah sistem dikendalikan secara otomatis oleh PLC dan HMI, proses selanjutnya adalah menjalankan simulasi pengepresan sebagai contoh hasil sistem otomasi hidrolik dengan menggunakan PLC dan HMI.

### B. Perancangan Modul PLC dan HMI

Untuk membuat modul I/O PLC dan HMI, perlu merancang dan membuat diagram pengkabelan terlebih dahulu.

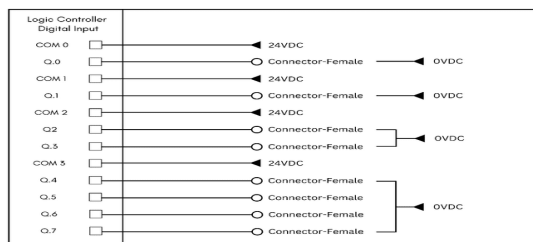


Gambar 11. Diagram pengkabelan power

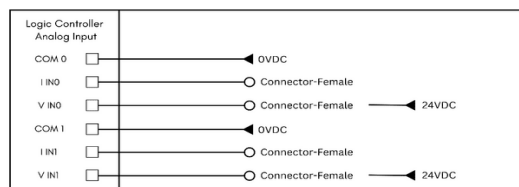


Gambar 12. Diagram pengkabelan digital input

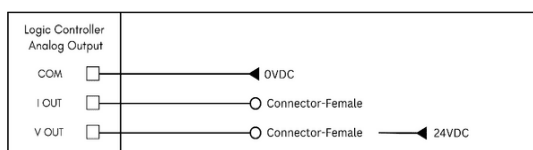




Gambar 13. Diagram pengkabelan digital output



Gambar 14. Diagram pengkabelan analog input



Gambar 15. Diagram pengkabelan analog output

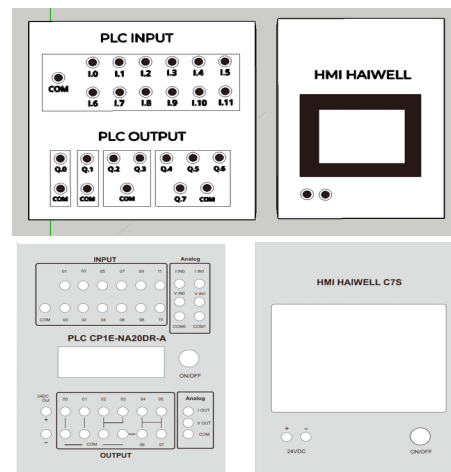
Diagram pengkabelan sistem ini diawali dari bagian power. Sumber utama menggunakan tegangan AC 220V, yang dibagi untuk memberi daya pada *power supply* 24VDC dan PLC. *Power supply* ini mengubah 220VAC menjadi 24VDC untuk menyalakan perangkat bertegangan rendah seperti HMI. Sementara itu, PLC mendapat daya langsung dari 220VAC sesuai spesifikasinya. Dengan begitu, sistem memiliki dua tingkat tegangan kerja:

1. Tegangan tinggi (AC) untuk sumber utama.
2. Tegangan rendah (DC) untuk sistem kontrol dan antarmuka.

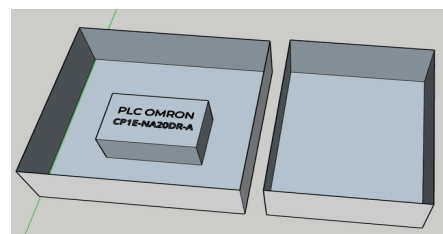
Pada bagian digital input (DI) dan digital output (DO), pengkabelannya disesuaikan dengan jenis sensor dan beban yang digunakan. Bagian analog input (AI) dan analog output (AO) menambah fleksibilitas sistem kontrol.

1. Analog input PLC Omron CP1E memiliki dua kanal, masing-masing bisa menerima sinyal arus (4–20mA) atau tegangan (0–10V) dari sensor seperti *pressure transmitter* atau sensor *linier*.
2. Analog output juga dapat mengeluarkan sinyal arus atau tegangan, sesuai kebutuhan aktuator, seperti *proportional valve* atau indikator analog.

Dengan konfigurasi ini, sistem pengkabelan menjadi lebih aman, efisien, dan fleksibel dalam menghubungkan berbagai perangkat kontrol, aktuator dan sensor. Desain dari rancangan alat praktikum kompetensi otomasi industri dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 16. Desain tampak depan

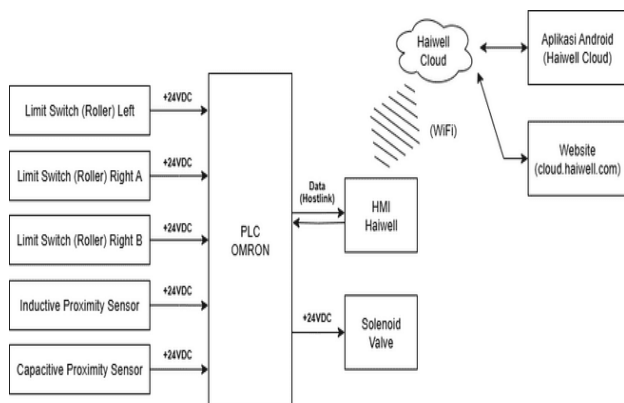


Gambar 17. Tampak dalam alat sistem kontrol berbasis PLC dan HMI

Dibangun dengan desain kokoh dengan steker bus ukuran 6mm sehingga mudah dipasang oleh jack penghubung. Selain pengujian input dan output pada modul, akan disimulasikan percobaan program untuk memastikan kinerja PLC dan HMI dalam menjalankan program dan menggerakkan hidrolik. Percobaan yang dilakukan adalah simulasi sistem pengepresan berbasis PLC dan HMI pada *basic hydraulic training system*. Terinspirasi dari Penelitian oleh Muhammad Juliandi Rachman merancang mesin pres batako otomatis dengan sistem elektropneumatik yang dikendalikan oleh PLC dan HMI [9]. Bedanya dengan pengujian sistem kami adalah kami menggunakan hidrolik yang terintegrasi dengan sensor-sensor seperti *limit switch*, *inductive proximity sensor*, *capacitive proximity sensor*, dan *pressure transmitter*, pengontrolan aktuator (seperti katup *solenoid* dan silinder hidrolik), serta pemantauan dan pengendalian proses melalui antarmuka HMI[10].

### C. Perancangan Sistem Simulasi Pengepresan

Berikut blok diagram perancangan sistem simulasi pengepresan berbasis PLC dan HMI pada *basic hydraulic training system*

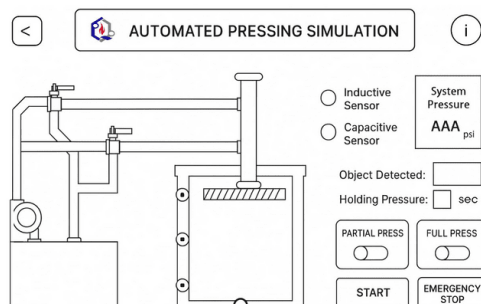


Gambar 18. Blok diagram rancangan sistem simulasi pengepresan berbasis PLC dan HMI pada Basic Hydraulic Training System

Sistem simulasi pengepresan dirancang untuk meniru cara kerja mesin pengepres otomatis yang dikendalikan oleh PLC. Sistem terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu sensor, PLC, *solenoid valve*, dan HMI. Pada bagian input terdapat *Limit Switch* kiri dan kanan yang berfungsi mendeteksi posisi silinder pengepres saat bergerak maju atau mundur. Selain itu, *Inductive Proximity Sensor* digunakan untuk mendeteksi benda kerja dari logam, sedangkan *Capacitive Proximity Sensor* mendeteksi benda kerja non-logam. Dengan adanya sensor ini, sistem hanya akan bekerja jika benda kerja sudah terdeteksi di posisi yang benar. Semua sinyal dari sensor masuk ke PLC sebagai pusat kontrol. PLC membaca kondisi sensor, memproses logika kerja, dan mengatur urutan pengepresan secara otomatis. PLC kemudian mengirimkan sinyal ke *Solenoid Valve* untuk mengatur arah aliran fluida hidrolik sehingga silinder dapat bergerak maju atau mundur sesuai kebutuhan proses. Sistem juga dilengkapi dengan HMI sebagai tampilan bagi operator. Melalui HMI, operator dapat memantau status sensor dan aktuator, serta memberikan perintah seperti *Start* dan *Stop*. Data dari PLC ditampilkan di HMI agar kondisi sistem bisa dipantau secara real-time. Komunikasi antara PLC dan HMI berlangsung dua arah. Dari HMI ke PLC dikirim perintah operasi, sedangkan dari PLC ke HMI dikirim data status sistem. Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan penerapan kontrol otomatis menggunakan PLC yang terintegrasi dengan sensor, aktuator sehingga proses pengepresan dapat berlangsung efisien.

#### D. UI Sistem Pengepresan Hydraulic pada HMI

Adapun desain dari rancangan *User Interface* (UI) sistem pengepresan sebagai bagian untuk pengujian HMI.



Gambar 19. Rancangan UI sistem pengepresan

Submitted: 02/12/2025; Revised: 29/12/2025;

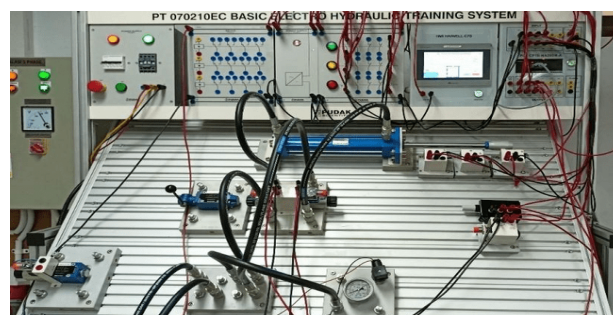
Accepted: 04/01/2026; Online first: 10/02/2026

<https://doi.org/10.46964/poligrid.v7i1.168>

Gambar 19 merupakan rancangan tampilan antarmuka (HMI) dari Sistem Pengepresan Otomatis yang mengontrol dan memonitor proses pengepresan berbasis PLC. Operator dapat memulai atau menghentikan siklus pengepresan menggunakan tombol *Start* dan *Stop*. Status dari berbagai sensor seperti *Capacitive Proximity Sensor*, *Inductive Proximity Sensor*, *Limit Switch* Awal, dan *Limit Switch* Akhir ditampilkan dalam bentuk indikator lampu berwarna untuk memudahkan pemantauan kondisi sistem. Saat proses berjalan, HMI menampilkan progress pergerakan silinder secara *real-time* dalam bentuk bar progresif, disertai persentase gerak maju silinder. Di sisi kanan, terdapat animasi sederhana pengepresan beserta informasi waktu penahanan tekanan yang dihitung berdasarkan jenis benda yang terdeteksi (5 detik untuk logam, 3 detik untuk non-logam). Jika tidak ada benda kerja yang terdeteksi, sistem akan menampilkan status "Menunggu Benda", memastikan operator mengetahui kondisi sistem sebelum memulai siklus berikutnya.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah Alat Praktikum Kompetensi Otomasi Industri di Laboratorium Jurusan Rekayasa Elektro yang berupa modul PLC dan HMI yang sudah terintegrasi dengan *Basic Electro Hydraulic Training System* PT 070210EC.



Gambar 20. Sistem kontrol otomatis berbasis PLC dan HMI yang terintegrasi pada peralatan Laboratorium Hydraulic Training System PT 070210EC



Gambar 21. Modul PLC dan HMI pada alat praktikum otomasi industri

PLC yang digunakan berjenis PLC OMRON CP1E NA20DR-A dan HMI Haiwell C7S. PLC ini mempunyai 10 buah input digital 1 buah input analog, dan 7 buah output digital dan 1 buah input analog sesuai dengan spesifikasi PLC Omron CP1ENA20DRA [15]. Beberapa pengujian meliputi:

1. Pengujian Koneksi dan Komunikasi Perangkat
2. Pengujian Pinout dan Fungsi Komponen

### 3. Pengujian contoh program otomasi hidrolik dengan PLC berbasis HMI yaitu Sistem Pengepresan Otomatis

Pengujian ini berfungsi untuk menguji performa dari model rancangan dapat berfungsi dengan baik dan dapat diimplementasikan di Laboratorium Jurusan Rekayasa Elektro.

#### A. Gambaran Umum Sistem

Sistem yang dirancang dan diimplementasikan merupakan simulasi pengepresan otomatis berbasis PLC dan HMI yang terintegrasi pada perangkat *Basic Hydraulic Training System* PT 070210EC. Sistem ini untuk memberikan simulasi proses pengepresan layaknya pada dunia industri, dengan pengendalian otomatis terhadap aktuator, pemrosesan sinyal sensor, serta pemantauan melalui antarmuka HMI. Komponen utama yang digunakan dalam sistem ini meliputi:

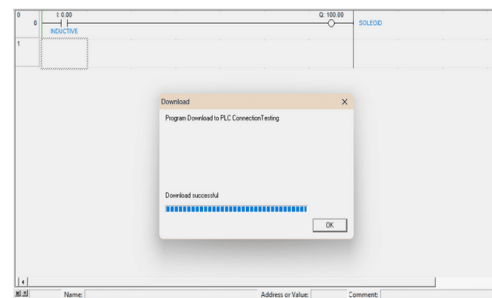
1. PLC OMRON CP1E-NA20DR-A, berfungsi sebagai pusat kendali logika, membaca input dari sensor, dan mengendalikan output ke aktuator [15].
2. HMI Haiwell C7S, digunakan untuk memvisualisasikan proses, memberi perintah kepada PLC, serta menampilkan data sensor dan status sistem secara *real-time* [12].
3. *Hydraulic Training System* PT 070210EC, yang menjadi media simulasi pengepresan dengan komponen seperti silinder hidrolik, *solenoid valve*, *pressure gauge* dan *flow control* [11].
4. Sensor dan saklar, yang terdiri dari:
  - a. *Push Button* untuk tombol fisik pada sistem.
  - b. *Inductive Proximity Sensor* untuk mendeteksi keberadaan benda logam,
  - c. *Capacitive Proximity Sensor* untuk mendeteksi benda non-logam,
5. Katup Solenoid sebagai aktuator utama yang mengatur aliran oli hidrolik ke silinder.
6. Lampu indikator dan *push button* sebagai perangkat kontrol dan *feedback* manual pada HMI maupun trainer.

Dengan integrasi keseluruhan komponen tersebut, sistem berhasil menjalankan proses pengepresan dalam dua mode, yaitu *Partial Press* dan *Full Press*, yang dapat dipilih melalui HMI. Seluruh tahapan proses pengepresan mulai dari deteksi benda kerja, pergerakan silinder, penahanan tekanan, hingga pengembalian ke posisi awal berjalan secara otomatis sesuai dengan logika ladder program pada PLC.

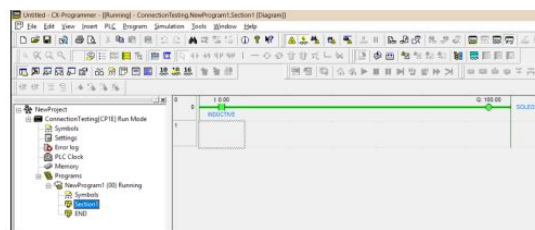
#### B. Pengujian Koneksi dan Komunikasi Perangkat

##### 1) Pengujian Koneksi antara PC dengan PLC

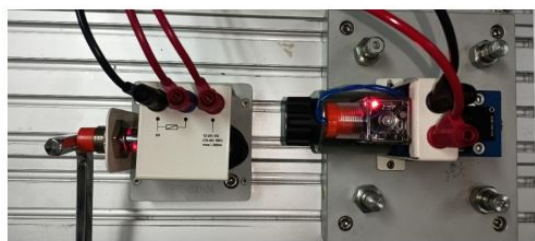
Pengujian koneksi dilakukan untuk memastikan perangkat lunak *CX-Programmer* yang terpasang di PC dapat berkomunikasi secara langsung dengan PLC OMRON CP1E-NA20DR-A dan dapat tampil pada HMI sesuai yang didesain. Koneksi yang berhasil memungkinkan pengguna untuk melakukan pemrograman, pemantauan status input atau output secara *real-time*, serta menjalankan atau meng hentikan sistem dari komputer.



Gambar 21. Status *upload* program ladder ke PLC OMRON CP1E berhasil



Gambar 22. Mode *RUN* aktif pada CX-Programmer dan status ladder berjalan



Gambar 23. Kondisi aktif sensor dan solenoid ditunjukkan oleh lampu indikator

Pada Gambar 21, proses unggah (*upload*) program ladder dari perangkat lunak *CX-Programmer* ke PLC OMRON CP1E-NA20DR-A berhasil dilakukan tanpa adanya pesan kesalahan. Hal ini menunjukkan koneksi antara PC dan PLC sudah berjalan dengan baik dan sistem siap untuk menjalankan program. Pada Gambar 22, terlihat status "*Running*" pada *CX-Programmer*, yang berarti PLC sudah berada dalam mode operasi. Pada tampilan ini juga terlihat bagian ladder diagram yang sedang aktif, ditandai dengan warna hijau pada kontak dan coil. Hal tersebut menandakan logika program sedang bekerja dan output berhasil dijalankan sesuai perintah. Sementara itu, Gambar 23 menunjukkan kondisi nyata dari perangkat fisik di trainer. Terlihat *inductive proximity sensor* dan *solenoid valve* dalam keadaan aktif, ditandai dengan lampu indikator yang menyala. Ini membuktikan sinyal dari sensor berhasil diterima oleh PLC dan diproses untuk mengaktifkan aktuator sesuai logika program. Secara keseluruhan, ketiga gambar tersebut memperlihatkan proses komunikasi, pemrograman, dan eksekusi kontrol antara PC dan PLC berjalan dengan baik dan sistem berfungsi sesuai rancangan.



TABEL 3  
HASIL PENGUJIAN KONEKSI ANTARA PC DAN PLC

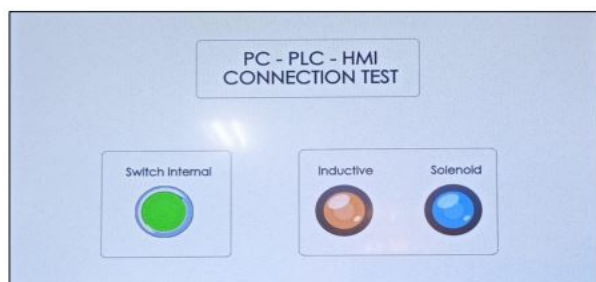
| No. | Langkah Pengujian                      | Indikator Keberhasilan                              | Hasil    | Keterangan                           |
|-----|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------|--------------------------------------|
| 1   | Pemilihan tipe PLC dan port komunikasi | Tipe CP1E berhasil dipilih dan port USB terdeteksi  | Berhasil | Koneksi via kabel USB berhasil       |
| 2   | Upload program ladder ke PLC           | Program berhasil diunggah tanpa error               | Berhasil | Ladder berjalan normal               |
| 3   | Monitoring status input/output         | Input/output digital dapat terbaca secara real-time | Berhasil | Sensor proximity, dan solenoid aktif |
| 4   | Pengaturan mode RUN/STOP dari PC       | PLC dapat diubah ke mode RUN melalui CX-Programmer  | Berhasil | Sistem dapat dikendalikan dari PC    |

## 2) Pengujian Koneksi PLC dengan HMI

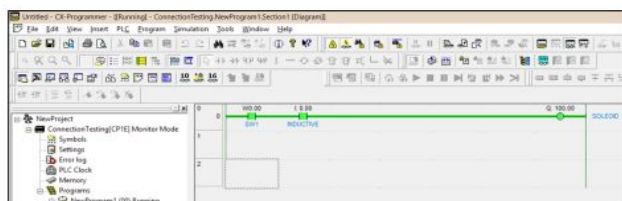
Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa komunikasi dua arah antara PLC OMRON CP1E-NA20DR-A dan HMI Haiwell C7S berjalan dengan benar, baik dalam membaca input maupun menulis output. Dalam pengujian ini digunakan dua buah kontak dan satu buah coil sebagai representasi.



Gambar 24. Visual fisik sensor dan solenoid aktif dalam uji koneksi HMI-PLC



Gambar 25. Tampilan HMI saat semua indikator aktif dan switch internal ditekan



Gambar 26. Status ladder yang aktif sesuai dengan kondisi di HMI

Seperti yang terlihat pada Gambar 24, kondisi fisik dari *inductive proximity* sensor dan solenoid valve ditampilkan dalam keadaan aktif, ditandai dengan menyala lampu indikator masing-masing komponen. Gambar ini memperkuat bukti bahwa komunikasi antara PLC dan HMI berjalan lancar karena logika output berhasil diteruskan hingga mengaktifkan aktuatur. Selanjutnya, pada Gambar 25, tampilan antarmuka HMI menunjukkan bahwa ketiga elemen yang diuji yaitu indikator sensor *proximity*, indikator solenoid, serta *switch* internal semuanya dalam kondisi aktif (ON). *Switch* internal yang ditekan memiliki nilai "1", sensor *proximity* menyala karena mendeteksi logam, dan indikator solenoid menunjukkan output sedang bekerja, semuanya sesuai dengan logika yang telah diprogram di PLC. Kemudian pada Gambar 26, terlihat ladder diagram di CX-Programmer sedang berjalan dengan *highlight* hijau aktif pada kontak dan coil yang berhubungan dengan alamat W0.00, 0.00, dan 100.00. Ini menandakan bahwa sinyal dari HMI diterima oleh PLC, diproses melalui logika ladder, dan kemudian dikirim kembali ke HMI untuk menampilkan status output. Keselarasan antara kondisi di HMI dan di CX-Programmer ini menunjukkan bahwa pemetaan alamat dan komunikasi dua arah antara HMI dan PLC telah berhasil dilakukan dengan baik.

TABEL 4  
HASIL PENGUJIAN KONEKSI ANTARA PLC DAN HMI

| No. | Pengujian                  | Alamat | Fungsi yang Diuji                                                                           | Hasil    | Keterangan                            |
|-----|----------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------|
| 1   | Switch Internal            | W0.00  | Tombol di HMI ditekan → PLC menerima dan bit ON                                             | Berhasil | Bit aktif di ladder diagram           |
| 2   | Inductive Proximity Sensor | 0.00   | Sensor <i>proximity</i> diaktifkan → HMI dengan indikator ON<br>Bila W0.00 dan 0.00 aktif → | Berhasil | Sinyal sensor terbaca di tampilan HMI |
| 3   | Solenoid                   | 100.00 | output coil 100.00 ON, ditampilkan di HMI                                                   | Berhasil | Indikator menyala dan coil aktif      |

## C. Pengujian Pinout dan Fungsi Komponen

### 1) Pengujian Input Digital

Pengujian input digital untuk memverifikasi seluruh perangkat input yang terhubung ke PLC OMRON CP1E-NA20DR-A berfungsi dan memberikan sinyal ON (logika 1) saat aktif. Perangkat yang diuji meliputi tombol tekan (*push button*), sensor *proximity* PNP (induktif dan kapasitif), serta *limit switch* mekanik yang ditekan secara manual menggunakan tangan pada bagian *roller*-nya. Dalam pengujian ini, tombol *Start*, *Emergency Stop*, dan *Manual Stop* diuji sebagai kontrol manual dari operator, sementara sensor *proximity* digunakan untuk mendeteksi jenis benda kerja. Tiga buah *limit switch* diuji dengan cara menekan langsung bagian *roller* secara manual

untuk memastikan sinyal *ON* terbaca di software *CX-Programmer*.



Gambar 27. Pengujian input digital

Gambar 27 memperlihatkan seluruh perangkat input dalam satu frame. Foto ini mencakup sensor kapasitif, sensor induktif, *limit switch* awal, tengah, dan akhir, serta tombol-tombol seperti *Start*, *Emergency Stop*, dan *Manual Stop*, yang semuanya telah diuji satu per satu dalam pengujian input digital sistem pengepresan otomatis. Pengujian dilakukan secara manual terhadap setiap komponen input untuk memverifikasi sinyal *ON* dapat diterima oleh PLC. Indikator keberhasilan diperlihatkan melalui lampu indikator pada perangkat fisik (misalnya LED pada sensor *proximity*), serta indikator LED kecil di panel input PLC yang menyala saat input aktif, sesuai alamat (seperti 0.00 untuk tombol *Start*, 0.01 untuk tombol *Emergency Stop*, 0.02 untuk sensor induktif, dan seterusnya). Foto ini menjadi bukti dokumenter langsung seluruh perangkat input dalam sistem telah terhubung secara fungsional dan logis ke PLC OMRON CP1EN-A20DR-A. Validasi ini mendukung data teknis yang tercantum pada Tabel 3, serta menguatkan proses wiring dan konfigurasi input berjalan sesuai rancangan.

TABEL 5  
HASIL PENGUJIAN INPUT DIGITAL

| No | Komponen Input    | Jenis Input      | Cara Pengujian        | Status Bit di CX | Keterangan                            |
|----|-------------------|------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------------|
| 1  | Tombol Start      | Push Button (NO) | Di tekan              | ON (Berhasil)    | memulai proses pengepresan            |
| 2  | Emergency Stop    | Push Button (NO) | Ditekan               | ON (Berhasil)    | Menghentikan sistem, semua solenoid   |
| 2  | Emergency Stop    | Proximity PNP    | Logam didekatkan      | ON (Berhasil)    | Mendeteksi benda kerja berbahan logam |
| 3  | Sensor Induktif   | Proximity PNP    | Non Logam didekatkan  | ON (Berhasil)    | Mendeteksi benda kerja non-logam      |
| 4  | Sensor Kapasitif  | Mekanik          | Roller ditekan manual | ON (Berhasil)    | Menandakan posisi awal silinder       |
| 5  | Limit Switch Awal | Mekanik          | Roller ditekan manual | ON (Berhasil)    | Menandakan posisi awal silinder       |

|   |                     |                  |                       |               |                                            |
|---|---------------------|------------------|-----------------------|---------------|--------------------------------------------|
| 6 | Limit Switch Tengah | Mekanik          | Roller ditekan manual | ON (Berhasil) | Posisi pengepresan maksimum                |
| 7 | Limit Switch Akhir  | Push Button (NO) | Ditekan               | ON (Berhasil) | Mengubah solenoid ke mode retract (mundur) |

2) Pengujian Output Digital

Pengujian output digital dilakukan agar bit output dari PLC telah aktif sesuai dengan logika yang dirancang dalam program ladder, serta dapat memicu perangkat output fisik, seperti lampu indikator dan *solenoid*, meskipun tanpa terhubung langsung ke sistem hidrolik. Pengujian dilakukan dalam simulasi sistem elektrik, menggunakan tombol input, sensor, serta indikator lampu sebagai alat bantu. Di pengujian ini, *ladder* program sudah di-*upload* ke dalam PLC dan sistem dijalankan secara bertahap untuk mengamati apakah *bit* output aktif pada saat yang semestinya. Aktivasi *solenoid* dinilai dari menyala atau tidaknya lampu indikator (biasanya LED atau lampu pilot) yang terhubung ke masing-masing pin output.



Gambar 28. Pengujian output digital

Gambar 28 menampilkan kondisi sistem kelistrikan output saat pengujian berlangsung. Foto memperlihatkan lampu indikator hijau yang menyala saat tombol *Start* ditekan, yang terhubung ke output PLC 100.00, serta lampu indikator lain yang mewakili aktivasi dari *solenoid extend* dan *retract*, masing-masing terhubung ke output PLC 100.01 dan 100.02. Pengujian dilakukan dalam kondisi simulasi sistem kelistrikan, tanpa menghubungkan aktuator silinder secara langsung. Aktivasi output dinilai berdasarkan penyalan lampu indikator fisik serta status *bit* output di *CX-Programmer* yang berubah menjadi *ON* (ditandai warna hijau), menunjukkan logika *ladder* program telah dijalankan dengan benar oleh PLC. Secara keseluruhan, foto ini menunjukkan sinyal dari PLC berhasil mengontrol perangkat output digital yang dirancang dalam sistem. Hal ini memperkuat kevalidan data yang tercantum di Tabel 5, sekaligus menjadi bukti sistem kontrol berfungsi sesuai dengan rancangan logika dan wiring aktual di lapangan.



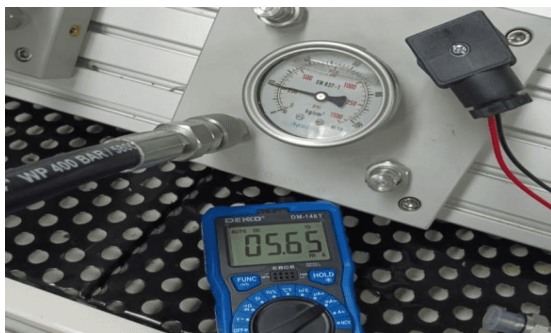
TABEL 6  
HASIL PENGUJIAN OUTPUT DIGITAL

| No. | Output Digital   | Kondisi Pemicu                               | Indikator Fisik            | Keterangan                                     |
|-----|------------------|----------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|
| 1   | Lampu Hijau      | Push Button Start (0.00) ditekan             | Lampu Hijau menyala        | Sistem aktif; menunjukkan proses telah dimulai |
| 2   | Solenoid Extend  | Mode pengepresan dipilih + sensor terdeteksi | Lampu indikator Extend ON  | Simulasi: sinyal untuk silinder maju bekerja   |
| 3   | Solenoid Retract | Setelah proses selesai                       | Lampu indikator Retract ON | Simulasi: sinyal untuk silinder mundur bekerja |

### 3) Pengujian Input Analog

Pengujian input analog dilakukan agar sinyal dari *pressure transmitter* dapat terbaca dan dikonversi dengan benar oleh PLC OMRON CP1E-NA20DR-A. Sensor ini memiliki rentang tekanan 0–100 bar, dengan sinyal keluaran 4–20 mA, yang oleh PLC dikonversi menjadi nilai digital 0–6000. Proses pengujian dilakukan dengan memutar *knob* tekanan pada unit hidrolik secara perlahan agar tekanan sistem berubah bertahap. Setiap perubahan tekanan menghasilkan variasi arus (mA) yang kemudian tampil sebagai nilai ADC pada perangkat lunak *CX-Programmer*. Sebagai contoh, ketika *knob* diputar, terbaca nilai ADC sebesar 619. Nilai ini kemudian dihitung ulang menggunakan rumus skala linear untuk mengetahui besar arus (dalam mA) dan tekanan aktual (dalam bar). Dengan cara ini, dipastikan sistem mampu membaca sinyal analog dengan akurat dan sesuai dengan perubahan tekanan di lapangan[13].

$$\text{Output} = \frac{\text{OutputMax} - \text{OutputMin}}{\text{InputMax} - \text{InputMin}} \times (\text{Input} - \text{InputMin}) + \text{OutputMin} \quad (1)$$



Gambar 29. Pengujian input analog dengan multimeter

Untuk mengetahui besarnya arus yang dikirimkan oleh *pressure transmitter* berdasarkan nilai ADC yang terbaca oleh PLC, dilakukan proses scaling dari nilai ADC ke satuan *miliampere* (mA) dengan menggunakan rumus linear berikut:

$$\text{Output} = \frac{\text{OutputMax} - \text{OutputMin}}{\text{InputMax} - \text{InputMin}} \times (\text{Input} - \text{InputMin}) + \text{OutputMin} \quad (2)$$

Diketahui:

- Input Min = 0 (ADC)
- Input Max = 6000 (ADC)
- Output Min = 4 (mA)

Submitted: 02/12/2025; Revised: 29/12/2025;  
Accepted: 04/01/2026; Online first: 10/02/2026  
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v7i1.168>

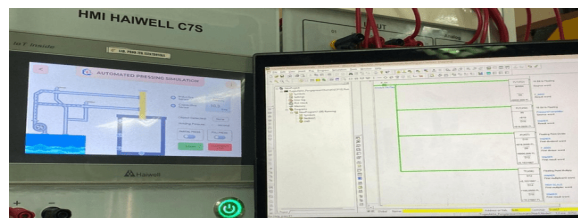
d. Output Max = 20 (mA)

e. Input (ADC) = 619

$$\text{mA} = \frac{20 - 4}{6000 - 0} \times (619 - 0) + 4$$

$$\text{mA} = \frac{16}{6000} \times (619 - 0) + 4 = 5,65\text{mA}$$

Jadi, berdasarkan pembacaan ADC sebesar 619, nilai arus yang dihitung adalah 5,65mA



Gambar 30. Pengujian input analog dengan CX-Programmer

Setelah mendapatkan nilai ADC dari pembacaan input analog oleh PLC, nilai tersebut dikonversikan langsung ke satuan tekanan (*barg*) menggunakan metode scaling linier berikut:

$$\text{Output} = \frac{\text{OutputMax} - \text{OutputMin}}{\text{InputMax} - \text{InputMin}} \times (\text{Input} - \text{InputMin}) + \text{OutputMin} \quad (3)$$

Diketahui:

- Input Min = 0 (ADC)
- Input Max = 6000 (ADC)
- Output Min = 0 (*barg*)
- Output Max = 100 (*barg*)
- Input (ADC) = 619

$$\text{Barg} = \frac{100 - 0}{6000 - 0} \times (619 - 0) + 0$$

$$\text{Barg} = \frac{100}{6000} \times (619 - 0) + 0 = 10,3 \text{ Barg}$$

Dengan demikian, nilai ADC sebesar 619 merepresentasikan tekanan sekitar 10,3 *barg*.

TABEL 7  
HASIL PENGUJIAN INPUT ANALOG

| No | Parameter        | Nilai ADC | Arus (mA) | Tekanan (barg) | Status   | Keterangan                                 |
|----|------------------|-----------|-----------|----------------|----------|--------------------------------------------|
| 1  | Tekanan Hidrolik | 619       | 5.65      | 10.31          | Berhasil | Perubahan nilai ADC terdeteksi dengan baik |
| 2  | Tekanan Hidrolik | 1183      | 7.15      | 19.72          | Berhasil | Sensor merespons tekanan rendah            |
| 3  | Tekanan Hidrolik | 2377      | 10.34     | 39.62          | hasil    | Sensor mulai membaca tekanan menengah      |
| 4  | Tekanan Hidrolik | 2988      | 11.97     | 49.80          | Berhasil | Titik tengah mendekati 50 barg             |
| 5  | Tekanan Hidrolik | 3862      | 14.30     | 64.37          | hasil    | Tekanan meningkat,                         |

|   |                  |      |       |       |       |                                                                                    |
|---|------------------|------|-------|-------|-------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 | Tekanan Hidrolik | 4725 | 16.60 | 78.75 | Ber   | respons sensor tetap stabil                                                        |
| 7 | Tekanan Hidrolik | 5987 | 19.98 | 99.78 | hasil | Pembacaan mendekati batas atas Hampir maksimum, menunjukkan rentang sensor optimal |

#### D. Pengujian Program Sistem Pengepresan Otomatis dengan Hidrolik

Pengujian dilakukan dengan 2 mode *Partial Press* dan *Full Press*.

##### 1) Pengujian sistem pada mode *Partial Press*

Pengujian sistem pada mode *Partial Press* dilakukan untuk memastikan bahwa keseluruhan rangkaian kontrol otomatis, baik dari sisi input, pengolahan logika di PLC, dan keluaran sistem berjalan sesuai dengan skenario yang telah dirancang. Dalam mode ini, silinder akan bergerak maju hingga menyentuh limit switch tengah, kemudian akan menahan posisi selama beberapa detik tergantung jenis benda kerja yang terdeteksi, lalu kembali ke posisi awal. Pengujian diawali dengan menempatkan benda kerja di area sensor. Sistem dilengkapi dengan dua jenis sensor proximity untuk mengenali jenis material benda kerja, yaitu sensor induktif (0.02) untuk mendeteksi benda logam, dan sensor kapasitif (0.03) untuk mendeteksi benda non-logam



Gambar 31. Pengujian sistem mode partial press

##### 1. Pengujian 1: Benda Logam

Saat benda logam didekatkan ke sensor induktif, lampu indikator pada HMI menyala, disertai dengan tampilan teks "*Metal*", serta informasi bahwa sistem akan melakukan penahanan selama 5 detik. Operator kemudian menekan tombol *Start* (0.00), sistem mulai berjalan.

- Silinder bergerak maju, dan ketika menyentuh *limit switch* tengah (0.05), sistem akan menahan posisi silinder selama 5 detik.
- Setelah penahanan selesai, silinder bergerak mundur hingga menyentuh *limit switch* awal (0.04), yang menandakan bahwa silinder telah kembali ke posisi awal.
- Proses berhenti secara otomatis dan sistem siap untuk siklus berikutnya.

##### 2. Pengujian 2: Benda Non-Logam

Langkah pengujian sama seperti sebelumnya, namun kali ini benda non-logam didekatkan ke sensor kapasitif. Sistem kembali menampilkan status di HMI: lampu indikator non-logam menyala, muncul teks "*Non-Metal*", dan sistem menetapkan waktu penahanan 3 detik.

- Silinder bergerak maju, dan ketika menyentuh limit switch tengah (0.05), sistem akan menahan posisi silinder selama 3 detik
- Setelah penahanan selesai, silinder bergerak mundur hingga menyentuh limit
- switch awal (0.04), yang menandakan bahwa silinder telah kembali ke posisi awal
- Proses berhenti secara otomatis dan sistem siap untuk siklus berikutnya.
- 

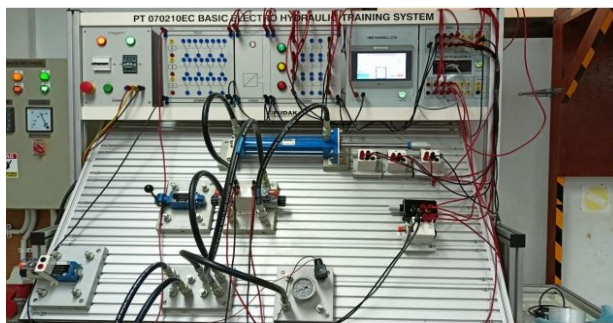
TABEL 8  
HASIL PENGUJIAN MODE *PARTIAL PRESS*

| No | Jenis Benda | Tombol Aktif | Sensor Aktif     | Waktu Tahan | Saklar Aktif                                         | Status Silinder     | Keterangan                            |
|----|-------------|--------------|------------------|-------------|------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 1  | Logam       | Start (0.00) | Induktif (0.02)  | 5 detik     | Limit switch tengah (0.05), Limit switch awal (0.04) | Maju, Tahan, Mundur | Sistem berjalan sesuai logika program |
| 2  | Non Logam   | Start (0.00) | Kapasitif (0.03) | 3 detik     | Limit switch tengah (0.05), Limit switch awal (0.04) | Maju, Tahan, Mundur | Sistem berjalan sesuai logika program |

Dari data Tabel 8 pada pengujian mode *Partial Press* untuk jenis benda logam dan non logam, sistem yang diuji telah berjalan sesuai dengan logika program yang dirancang

##### 2) Pengujian sistem pada mode *Full Press*

Dilakukan agar sistem menjalankan siklus pengepresan penuh secara otomatis berdasarkan jenis benda kerja yang terdeteksi, serta dapat mengelola tekanan pada posisi akhir silinder. Dalam mode ini, silinder bergerak maju hingga menyentuh *limit switch* akhir, kemudian sistem akan menahan posisi selama durasi tertentu, lalu bergerak mundur otomatis ke posisi awal. Pengujian diawali dengan menempatkan benda kerja di area sensor. Sistem dilengkapi dengan dua jenis sensor *proximity* untuk mengenali jenis material benda kerja, yaitu sensor induktif (0.02) untuk mendeteksi benda logam, dan sensor kapasitif (0.03) untuk mendeteksi benda non-logam.

Gambar 32. Pengujian sistem mode *full press*awal  
(0.04)

Dari data Tabel 9 pada pengujian mode *Full Press* untuk jenis benda logam dan non logam, sistem yang diuji telah bekerja sesuai dengan logika program yang dirancang

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi dan pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem kontrol berbasis PLC OMRON CP1E NA20DR-A dan HMI Haiwell C7S terintegrasi secara baik pada peralatan laboratorium PT 070210EC Basic Electro Hydraulic Training System. Penelitian ini menyediakan dua metode pembelajaran, yaitu pengontrolan konvensional menggunakan relay dan pengontrolan otomatis berbasis PLC dan HMI.
2. Sistem kontrol berhasil diterapkan untuk simulasi proses pengepresan otomatis dalam dua mode operasi yaitu *Partial Press* dan *Full Press*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa logika ladder, respons sensor dan aktuator, serta tampilan HMI berfungsi sesuai dengan perancangan sebagaimana ditunjukkan pada tabel pengujian.

### B. Saran

Berdasarkan pengalaman dalam proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem, beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan baik untuk pengembangan sistem ke depan

1. Unit pompa (motor 3 phase) pada perangkat hidrolis trainer masih dikendalikan secara konvensional menggunakan rangkaian relay. Disarankan agar pengendalian pompa juga bisa dilakukan melalui PLC
2. Dapat menambahkan Fitur IoT pada sistem ini karena telah tersedia fitur platform Haiwell Cloud, yang memungkinkan akses dan pemantauan jarak jauh melalui perangkat laptop maupun smartphone.

TABEL 9  
HASIL PENGUJIAN MODE *FULL PRESS*

| No | Jenis Benda | Tom bol Aktif | Sen sor Aktif    | Wak tu Tahan | Saklar Aktif                                     | Status Silinder     | Keterangan                            |
|----|-------------|---------------|------------------|--------------|--------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 1  | Logam       | Start (0.00)  | Induktif (0.02)  | 5 detik      | Limit switch akhir (0.06), Limit switch 1 (0.04) | Maju, Tahan, Mundur | Sistem berjalan sesuai logika program |
| 2  | Non Logam   | Start (0.00)  | Kapasitif (0.03) | 3 detik      | Limit switch akhir (0.06), Limit switch          | Maju, Tahan, Mundur | Sistem berjalan sesuai logika program |

## REFERENSI

- [1] S. R. Caressa, D. Anggraeni, dan N. Wening, "Hubungan kompetensi era industri 4.0, beban kerja organizational citizenship behavior dan kinerja karyawan," *Jurnal Manajemen*, vol. 9, no. 1, pp. 178–186, 2019.
- [2] A. Septian MN, "Penerapan trainer human machine interface (HMI) berbasis CX-Designer sebagai media pembelajaran programmable logic controller (PLC)," *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, vol. 3 no. 4, 2018.
- [3] B. Prasetyo dan U. Trisyanti, "Revolusi industri 4.0 dan tantangan perubahan sosial," *IPTEK J. Proc. Ser.*, no. 5, pp. 22–27, 2018.
- [4] H. Rahadian dan M. A. Heryanto, "Pengembangan human machine interface (HMI) pada simulator sortir bola sebagai media pembelajaran otomatis industri," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 84–91, 2020, doi: 10.25077/jnte.v9n2.766.2020.
- [5] I. Sukoco, R. Setiadi, dan R. A. K. U. Guntoro, "Rancang bangun media sistem otomatis berbasis PLC," *Journal of Mechanical Engineering Learning*, vol. 12, no. 2, 2023.

- [6] M. Thahir, M. I. Bachtiar, N. R. Najib, dan K. Riyadi, "Modul Pembelajaran sistem otomasi berbasis teknologi industri 4.0," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2022*, vol. 7, pp. 69–73, 2022.
- [7] Imnadir dan I. D. Zai, "Penerapan PLC HMI untuk monitoring objek pada sistem pengisian minuman ke dalam botol", *Buletin Utama Teknik*, vol. 18 no. 1, pp.47–48, 2022.
- [8] K. N. Tanex. "Implementasi kontrol berbasis PLC-HMI untuk mengarahkan DOL dan inverter pada sistem kompresor PT Gajah Tunggal Tbk", Internship thesis, Universitas Multimedia Nusantara, 2022.
- [9] M. J. Rachman, "Rancang bangun mesin pres batako otomatis menggunakan sistem elektro-pneumatik berbasis PLC Dan HMI", *Journal of Electrical Network Systems and Sources*, vol. 3 no. 2, pp. 35–43, 2024
- [10] Siman, dkk. *Hidrolik dan Pneumatik*, Surabaya, Indonesia: Cipta Media Nusantara, 2022.
- [11] Pennant International Group plc. (n.d.), "*Hydraulic System Trainer*," [Online] Available:<https://www.pennantplc.com/hydraulic-system-trainer/>[Accessed: 13-Apr-2025].
- [12] Haiwell Company, "*Haiwell C7S HMI Specification*," [Online]. Available: <https://haiwell.com/news/778-en.html>. [Accessed: 25-Apr-2025].
- [13] P. Gunoto, dan I. Kamil, "Analisa proses kalibrasi transmitter ketinggian air wtp pada pembangkit listrik di PT. Mitra Energi Batam", *Sigma Teknika*, vol. 4, no. 2, pp. 187-198, 2021.
- [14] R. Kurniawan, R. Parlindungan, dan E. Sukarna, "Modul Praktikum pembelajaran hidraulik berbasis PLC," in *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung, Indonesia, Jul. 13–14, 2022, pp. 706–710.
- [15] OMRON Corporation, "CPIE Series Programmable Controllers." [Online]. Available:<https://www.omron.co.id/products/family/2064/lineup.html>
- [16] R. Mubarraq, "Rancang Bangun sistem kendali otomatis silo dengan metode sortasi berdasarkan jenis kemasan produk menggunakan HMI-PLC", Tugas Akhir, Program Studi. Tek. Elektro, Univ. Teknol. Yogyakarta, p. 10, 2019
- [17] M. Khusniyah, E. S. Budi, dan H. K. Safitri, "Sistem kendali PID menggunakan PLC CPH dan HMI pada aplikasi miniplant tekanan udara", *Jurnal Elektron dan Otomasi Industri*, vol. 8, no. 3, pp. 229, 2021



# Rancang Bangun Sistem Peminjaman Peralatan Laboratorium Menggunakan Sidik Jari di Laboratorium Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda

Muhammad Rifky Fachreza<sup>1</sup>, Marson Ady Putra<sup>2</sup>, Rusda<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda  
marson@polnes.ac.id

**Abstrak-** Ketersediaan alat yang baik dan terawat merupakan faktor penting dalam menunjang proses perkuliahan di Jurusan Teknik Elektro. Alat praktik dan alat ukur memiliki risiko tinggi terhadap kerusakan maupun kehilangan, sehingga diperlukan sistem peminjaman yang efektif agar keberadaan dan kondisi alat dapat dipantau sebelum dan sesudah dipinjam. Penelitian ini merancang dan membangun sistem peminjaman alat laboratorium berbasis sensor sidik jari dengan menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali utama. NodeMCU ESP8266 bertugas menghubungkan perangkat keras dengan web server melalui koneksi WiFi, memungkinkan penyimpanan data peminjaman dan informasi pengguna secara daring. Metode yang digunakan meliputi perancangan perangkat keras berupa sensor sidik jari dan modul NodeMCU ESP8266, serta pengembangan perangkat lunak berbasis web untuk manajemen data. Sensor sidik jari digunakan sebagai metode autentikasi pengguna karena keunikannya yang sulit dipalsukan. Proses verifikasi dilakukan dengan mencocokkan sidik jari yang direkam dengan data yang tersimpan dalam modul. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menyimpan dan memverifikasi data sidik jari dengan tingkat keberhasilan 100%, serta mampu mencatat data peminjaman ke dalam basis data dengan baik. Sistem ini terbukti dapat diterapkan dalam proses peminjaman alat laboratorium dan memberikan kemudahan serta keamanan dalam pengelolaan inventaris di Laboratorium Teknik Elektro.

**Kata kunci:** sidik jari, NodeMCU ESP8266, basis data.

## I. PENDAHULUAN

Salah satu bentuk kegiatan belajar mengajar dalam perkuliahan adalah praktikum di laboratorium. Kegiatan praktikum ini dilakukan untuk membangun keterampilan khusus mahasiswa sesuai dengan bidang mata kuliah yang sedang dipelajari. Dalam pelaksanaannya, mahasiswa memerlukan berbagai peralatan dan bahan praktikum yang harus dipinjam. Proses peminjaman ini umumnya masih dilakukan secara manual dengan pencatatan pada kertas, sehingga sering menimbulkan berbagai permasalahan seperti data yang tidak tercatat dengan baik, kesalahan pencatatan, serta kesulitan dalam melakukan rekapitulasi data dalam jangka waktu tertentu. Selain itu, meningkatnya jumlah mahasiswa setiap tahunnya menyebabkan proses pencatatan menjadi lebih

lambat dan berpotensi menimbulkan antrean dalam proses peminjaman.

Penelitian sebelumnya telah mengkaji penerapan teknologi dalam manajemen laboratorium, khususnya sistem biometrik. Pengembangan sistem manajemen laboratorium berbasis pengenalan sidik jari mampu meningkatkan keamanan akses serta pencatatan penggunaan laboratorium [1]. Penggunaan teknologi sidik jari juga dapat mempercepat proses identifikasi pengguna serta meminimalkan kesalahan yang terjadi pada pencatatan manual [2]. Selain itu, konsep pengelolaan data laboratorium secara terstruktur telah dikembangkan melalui pendekatan Laboratory Information Management System (LIMS), yang berfokus pada pengelolaan data laboratorium secara terintegrasi berbasis database [3].

Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut masih memiliki beberapa keterbatasan, terutama dalam hal penerapan sistem yang belum secara spesifik difokuskan pada proses peminjaman peralatan laboratorium secara terintegrasi. Sebagian penelitian lebih menitikberatkan pada sistem kontrol akses laboratorium atau identifikasi pengguna, tanpa mengaitkannya secara langsung dengan pengelolaan data peminjaman alat secara menyeluruh. Selain itu, sistem yang dikembangkan belum sepenuhnya mendukung pencatatan data peminjaman secara terpusat berbasis web, sehingga proses monitoring dan pelacakan penggunaan alat masih terbatas. Permasalahan ini menjadi semakin penting seiring dengan meningkatnya jumlah mahasiswa dan intensitas penggunaan laboratorium, yang menuntut adanya sistem yang lebih cepat, akurat, dan terorganisir.

Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu mengintegrasikan proses identifikasi pengguna dengan pengelolaan data peminjaman secara digital. Pada penelitian ini dirancang dan dibangun sistem peminjaman peralatan laboratorium berbasis sensor sidik jari dengan memanfaatkan NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali utama yang terhubung dengan database berbasis web. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi, efektivitas, serta akurasi dalam proses peminjaman alat, sekaligus memberikan kemudahan dalam pengelolaan data laboratorium secara terintegrasi

## II. LANDASAN TEORI

### A. Sensor Sidik Jari

Sensor sidik jari adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk menangkap gambar digital dari sidik jari manusia. Ada dua proses yang terjadi dalam sistem pemindai sidik jari: pengambilan gambar dan pencocokkan Gambar 1. Metode yang paling umum digunakan adalah sistem optik, dengan cara membaca kontur (tinggi dan rendah permukaan) sidik jari dan listrik statis tubuh. Ini menghasilkan tingkat keamanan yang tinggi karena tidak dapat dipalsukan dengan fotokopi sidik jari atau sidik jari palsu. Sensor ini memiliki lapisan kaca yang tahan lama dan juga memiliki sensor gerak, yang menyala saat jari ditempelkan ke sensor untuk mengambil sidik jari [4]. Bentuk sensor sidik jari ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sensor sidik jari [4].

### B. Nodemcu ESP8266

NodeMCU adalah platform IoT yang terbuka yang menyediakan firmware interaktif berbasis LUA Espressif ESP8266 WiFi. NodeMCU mengintegrasikan ESP8266 ke dalam sebuah board yang dilengkapi dengan fitur selayaknya mikrokontroler dan akses WiFi, serta chip komunikasi USB to serial. Ini memungkinkan pemrograman dengan hanya menggunakan kabel data microUSB. NodeMCU juga dilengkapi dengan dua tombol, yaitu tombol reset dan flash [5]. ESP8266 adalah modul WiFi yang memiliki output serial TTL dan pin GPIO. Modul ini dapat digunakan secara standalone atau bersama dengan mikrokontroler tambahan untuk mengendalikannya. ESP8266 memerlukan tegangan kerja 3.3V, sehingga mikrokontroler tambahan seperti Arduino atau NodeMCU dapat digunakan. Firmware yang dapat digunakan pada ESP8266 untuk bekerja secara independen adalah NodeMCU [6].



Gambar 2. NodeMCU ESP8266 [6].

### C. Basis data

Database merupakan kumpulan data yang disimpan dan diorganisir secara terintegrasi dalam suatu sistem untuk memenuhi kebutuhan informasi bagi para penggunaannya.

Database dapat berupa sekumpulan record data operasional dari organisasi atau perusahaan yang dikelola dan disimpan dengan metode tertentu untuk menghasilkan informasi yang optimal [7]. Dalam penggunaan basis data yang dibedakan berdasarkan cara mereka berinteraksi terhadap sistem, ada beberapa tipe yaitu [8]:

#### A. Programmer Aplikasi

Penggunaan database dapat dilakukan dengan memanipulasi data yang terdapat di dalamnya menggunakan bahasa pemrograman yang disebut Data Manipulation Language (DML). DML digunakan untuk mengolah data seperti menambah, mengubah, dan menghapus data yang ada di dalam database. Contoh DML adalah SELECT, INSERT, UPDATE, dan DELETE. Dengan menggunakan DML, kita dapat dengan mudah memanipulasi data yang tersimpan di dalam database sesuai dengan kebutuhan.

#### B. User Mahir (*Casual User*)

Pemakai yang berinteraksi dengan system tanpa menulis modul program.

#### C. User Umum (*End User Naïve User*)

Pemakai yang berinteraksi dengan sistem basis data melalui pemanggilan satu program aplikasi permanent yang telah ditulis atau disediakan sebelumnya.

#### D. User Khusus (*Specialized User*)

Pemakai yang menulis aplikasi basis data non konvensional, tetapi untuk keperluan khusus.

### D. Entity Relationship Diagram (ERD)

Entity Relationship Diagram (ERD) adalah alat visual yang digunakan dalam desain database untuk menggambarkan hubungan antara entitas (objek atau konsep) dalam suatu sistem. ERD membantu pengembang perangkat lunak dan desainer database dalam merancang struktur database dengan jelas dan menggambarkan bagaimana entitas-entitas tersebut berhubungan satu sama lain. Fungsi ERD adalah sebagai alat bantu dalam pembuatan database dan memberikan gambaran bagaimana kerja database yang akan dibuat [9].

### E. MySQL

MySQL adalah sistem manajemen database yang menggunakan Structured Query Language (SQL) sebagai bahasa penyimpanan, pengelolaan, dan pengambilan data. MySQL memiliki kemampuan untuk menyimpan data dari berbagai jenis aplikasi, seperti website, software, dan sistem informasi. MySQL juga memiliki kemampuan untuk diakses secara remote, sehingga data dapat dikelola dan diakses dari berbagai tempat yang terhubung dengan internet [10].



Gambar 3 Logo MySQL [10]

### F. XAMPP

Xampp adalah sebuah paket perangkat lunak open source yang menyediakan segala kebutuhan yang dibutuhkan untuk menjalankan server lokal. Xampp mencakup sejumlah perangkat lunak seperti Apache, MySQL, PHP, FileZilla FTP server, dan PHPmyAdmin, yang dapat diinstal dan dikonfigurasi secara otomatis. Xampp sangat berguna bagi para pengembang web karena mereka dapat menguji aplikasi web mereka di komputer mereka sendiri sebelum mempublikasikannya secara online [7].



Gambar 4 Logo XAMPP [7].

### G. PHP MyAdmin

PHP MyAdmin juga memiliki beberapa fitur yang berguna untuk mengelola database MySQL, seperti impor dan ekspor data, backup dan restore database, mengoptimalkan tabel, mengelola trigger, event, stored routine, dan lain-lain. PHP MyAdmin juga memiliki interface yang user friendly sehingga mudah digunakan bahkan bagi pengguna yang belum terbiasa dengan MySQL. PHP MyAdmin juga memiliki dukungan untuk bahasa pemrograman seperti HTML, PHP, JavaScript, dan lain-lain, sehingga pengguna dapat membuat dan mengelola database MySQL dengan lebih fleksibel [11].

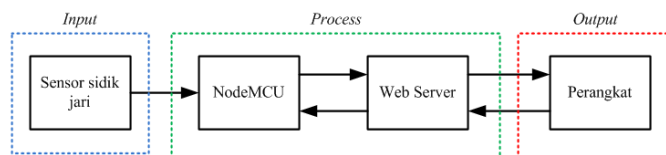


Gambar 5 Logo phpMyAdmin [11]

## III. METODE PENELITIAN

### A. Blok Diagram

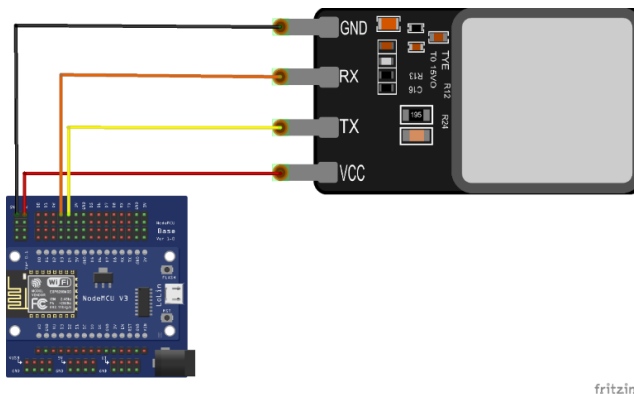
Gambar 6 menunjukkan blok diagram dari rancang bangun ini. Pada bagian input yaitu sensor sidik jari untuk verifikasi id finger yang telah terdaftar dan tersimpan ke dalam modul sensor sidik jari tersebut, jika id finger terbaca maka dilanjutkan ke bagian process yaitu NodeMCU ESP8266 untuk mengirim data id finger tersebut ke dalam database web server lalu dicocokkan dengan identitas sesuai id finger yang tersimpan. Jika id finger dan identitas sesuai maka dilanjutkan ke bagian output yaitu menampilkan identitas mahasiswa ke dalam perangkat seperti LCD dan komputer. Adapun fungsi output yaitu untuk menampilkan proses peminjaman alat berupa tampilan halaman pada web server, sedangkan untuk LCD untuk menampilkan proses pendaftaran dan pembacaan sidik jari.



Gambar 6. Blok diagram sistem

### B. Perancangan Sensor Sidik Jari

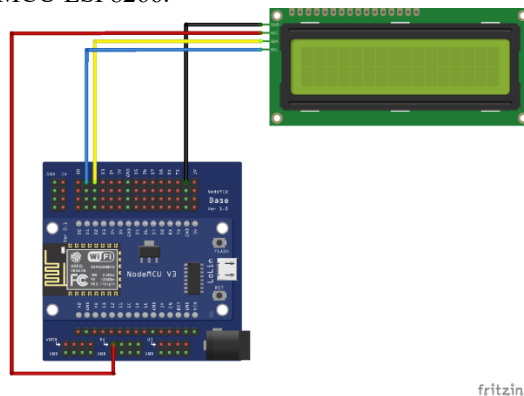
Perancangan sensor Sidik jari digunakan untuk mendaftarkan serta membaca id sidik jari mahasiswa. Sensor sidik jari akan langsung dihubungkan ke kontroller yaitu NodeMCU ESP8266. Wiring diagram dari sensor jari dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 7 Wiring sensor sidik jari

### C. Perancangan LCD 16x2

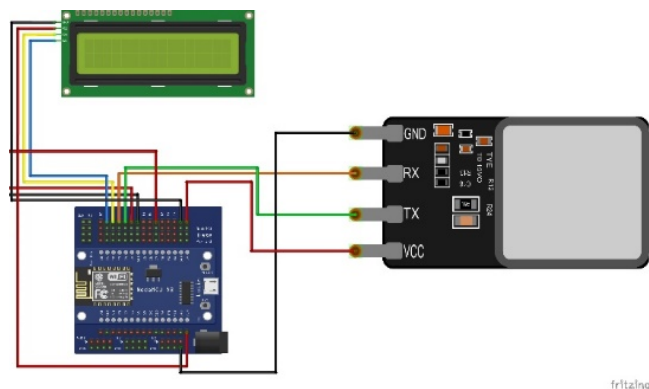
Pada perancangan ini ditambahkan LCD 16x2 untuk menampilkan hasil pembacaan sidik jari. Tampilan ini akan berada pada kotak alat sidik jari sehingga mahasiswa nantinya dapat melihat apakah data sidik jari telah terbaca atau belum. Pada Gambar 8 yaitu wiring diagram dari LCD 16x2 dengan NodeMCU ESP8266.



Gambar 8 Wiring LCD 16x2

### D. Perancangan Sistem Keseluruhan

Pada Gambar 9 merupakan gambar wiring diagram keseluruhan dari rancang bangun alat peminjaman peralatan di laboratorium.



Gambar 9 Wiring sistem keseluruhan

### E. Perancangan Database

Perancangan database ini menggunakan metode *Entity Relationship Diagram* (ERD) untuk mempermudah dalam merancang struktur database dengan jelas dan menggambarkan bagaimana entitas tersebut berhubungan satu sama lain. Adapun penjelasan perancangan EDR dalam sistem peminjaman alat laboratorium sebagai berikut:

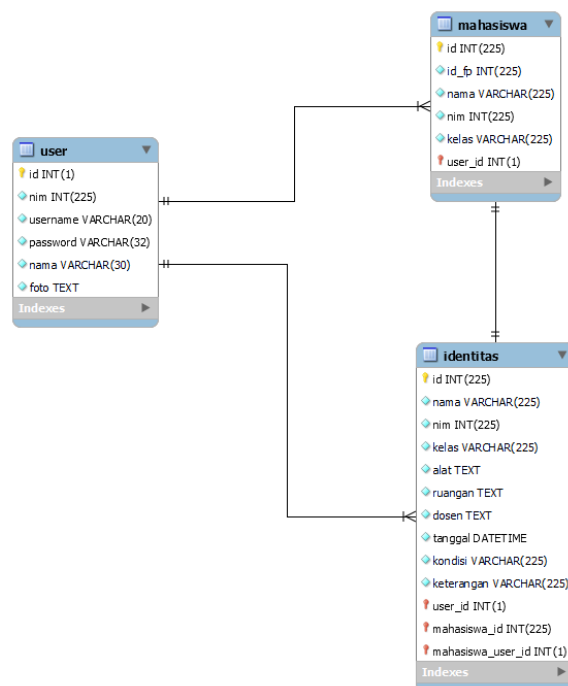
#### 1. Entitas-entitas utama:

- User (admin):** Entitas ini mewakili admin atau pengguna yang memiliki hak akses khusus dalam sistem. Atribut-atributnya mencakup nama, id pengguna, kata sandi, foto.
- Mahasiswa:** Entitas ini yang mempresentasikan mahasiswa yang dapat melakukan peminjaman alat. Atribut-atributnya termasuk nama, NIM, kelas.
- Peminjaman:** Entitas ini merekam transaksi peminjaman alat. Atribut-atributnya meliputi tanggal peminjaman, kondisi alat yang dipinjam, nama alat yang tersedia dan status peminjaman.
- Ruangan lab:** Entitas ini mempresentasikan ruangan lab di mana alat akan digunakan.
- Dosen pengawas:** ini adalah entitas mempresentasikan dosen yang bertanggung jawab atas pengawasan penggunaan alat dalam ruangan lab.

#### 2. Hubungan:

- Antara user (Admin) dan peminjaman: Hubungan ini menunjukkan bahwa setiap admin dapat mengelola dan mengakses sistem peminjaman, tetapi setiap peminjaman hanya dikelola oleh satu admin.
- Antara mahasiswa dan peminjaman: Hubungan ini menunjukkan bahwa setiap mahasiswa dapat melakukan peminjaman, tetapi setiap peminjaman hanya terkait dengan satu mahasiswa.
- Antara ruangan kelas dan dosen pengawas: Hubungan ini menunjukkan bahwa setiap ruangan kelas dapat memiliki satu atau lebih dosen pengawas yang bertanggung jawab atas pengawasan alat dalam ruangan tersebut.

Sehingga desain perancangan *Entity Relationship Diagram* (EDR) dalam desain Database peminjaman alat Laboratorium dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 ERD perancangan basis data

### C. Antar Muka Website Menambah User Admin

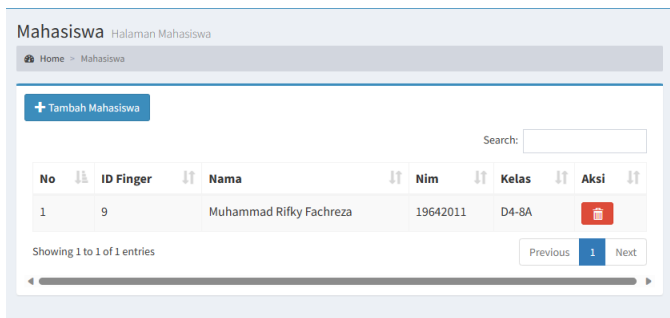
Halaman ini ditampilkan ke bagian untuk mendaftarkan user admin yang ingin dibuat dengan mengisi kolom Tabel yang tersedia seperti NIM, username, Password, Nama lengkap, serta foto apabila ingin ditambahkan atau tidak diperlukan.

Gambar 11. Antar muka menambah user admin

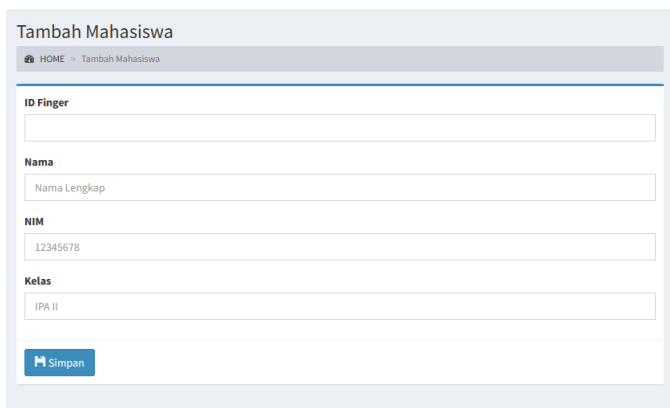
### D. Antar Muka Pendaftaran Anggota Mahasiswa

Halaman ini akan menampilkan atau menambahkan nama mahasiswa yang akan mendaftar sebagai peminjam di laboratorium. Halaman mahasiswa yang telah tersimpan di basis data dapat dilihat pada [Gambar 12](#). [Gambar 13](#) merupakan halaman untuk mendaftarkan atau menambahkan mahasiswa.





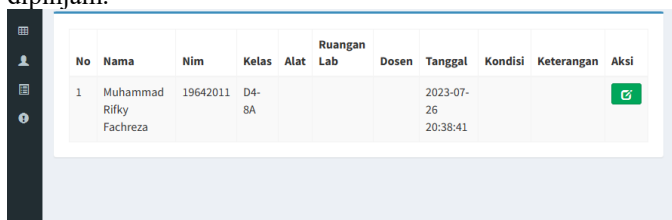
Gambar 12 Antar muka menambah anggota mahasiswa



Gambar 13 Menu menambah anggota mahasiswa

#### E. Antar Muka Peminjaman Alat

Halaman ini yaitu halaman proses peminjaman alat dapat dilihat pada [Gambar 14](#). Peminjaman alat dilakukan dengan menekan tombol edit yang berada pada aksi. Teknisi akan melakukan pemasukan data terkait peralatan yang akan dipinjam.



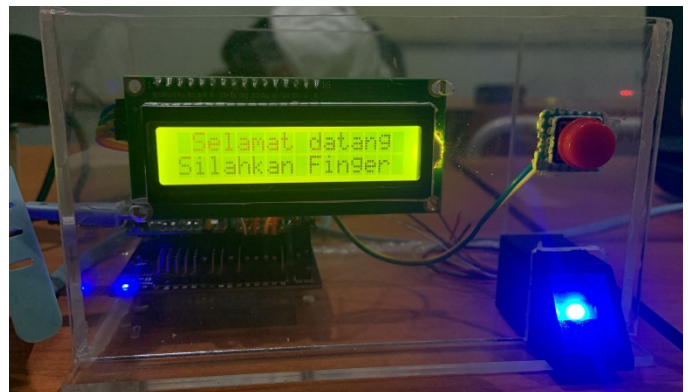
Gambar 14 Antar muka proses peminjaman barang

### IV. PENGUJIAN SISTEM

Pada bagian ini telah dilakukan pengujian untuk pengujian Alat peminjaman dalam mendaftarkan sidik jari sebagai anggota peminjaman alat maupun memverifikasi sidik jari dari anggota peminjaman alat.

#### A. Pengujian Pendaftaran Sidik Jari

Sebagai salah satu syarat peminjaman peralatan alat sidik jari mahasiswa harus telah tersimpan di basis data. Pada [Gambar 15](#) merupakan persiapan dalam melakukan pendaftaran sidik jari.

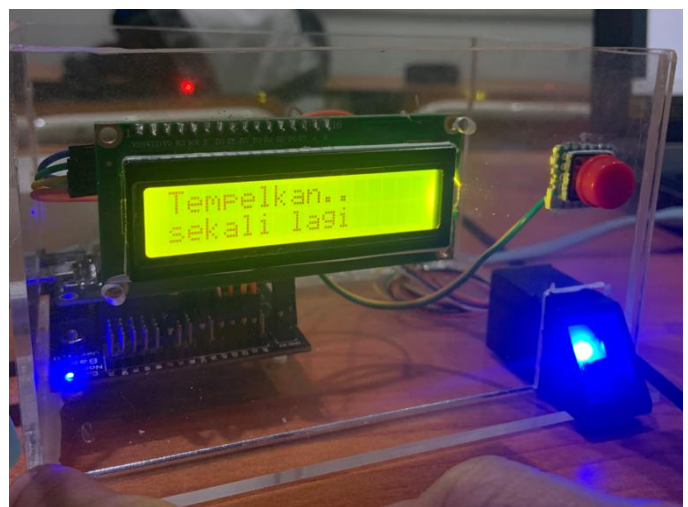


Gambar 15 Mempersiapkan mendaftarkan anggota baru

Pengujian penyimpanan ini akan menggunakan sidik jari jempol dan sidik jari tersebut akan terdaftar dengan nomor ID 9. Selanjutnya pada [Gambar 16](#) dan [Gambar 17](#) merupakan proses pendaftaran sidik jari dengan 2 kali melakukan pemindaian sidik jari agar mendapatkan data gambar sidik jari yang lebih akurat.

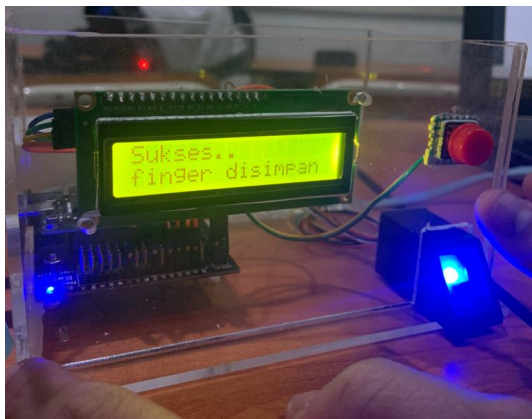


Gambar 16 Perintah menempelkan jari



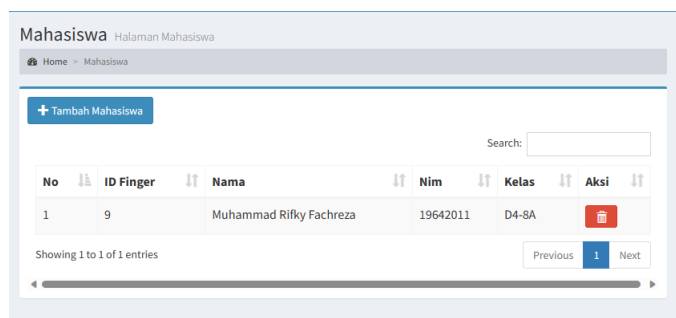
Gambar 17 Verifikasi jari

Pada [Gambar 18](#) merupakan tampilan apabila proses pendaftaran anggota mahasiswa telah berhasil.



Gambar 18 Sidik jari berhasil disimpan

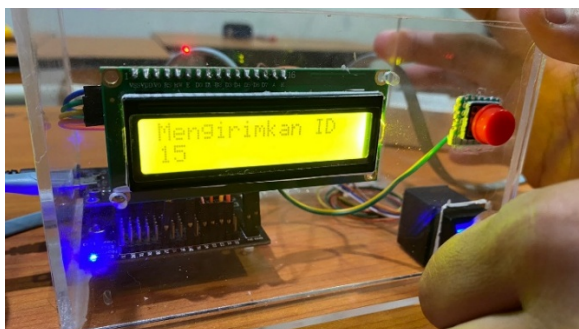
[Gambar 19](#) merupakan tampilan halaman website apabila ID 9 telah tersimpan di database dan akan ditampilkan pada menu halaman mahasiswa



Gambar 19 Data mahasiswa berhasil disimpan

### B. Pengujian Peminjaman Alat

Pada pengujian ini bertujuan untuk memperlihatkan bagaimana proses melakukan peminjaman alat mulai dari proses pembacaan dan pengiriman id finger hingga penyimpanan alat yang dipinjam. Pada [Gambar 20](#) yaitu mengirimkan sidik jari dengan ID nomor 15 yang sebelumnya telah didaftarkan. [Gambar 21](#) merupakan halaman website yang menampilkan data peminjam tersebut. Apabila ID belum terdaftar di basis data maka LCD akan menampilkan tulisan Error dan pada halaman website tidak menampilkan data mahasiswa.



Gambar 20 Scan sidik jari untuk meminjam alat

| No | Nama                    | Nim      | Kelas | Alat       | Ruangan Lab        | Dosen                           | Tanggal             | Kondisi | Keterangan     | Aksi   |
|----|-------------------------|----------|-------|------------|--------------------|---------------------------------|---------------------|---------|----------------|--------|
| 1  | Muhammad Rifky Fachreza | 19642011 | D4-SA | Multimeter | Lab. Mikroprosesor | Dr. Ir. Prihadi murdiyati, M.T. | 2023-07-26 20:38:41 | Normal  | Masih dipinjam | [Edit] |

Gambar 21 Data anggota terbaca untuk peminjaman alat

Selanjutnya Teknisi pada Laboratorium akan melakukan proses pendataan peminjaman alat dengan mengklik tombol edit yang berada pada kolom aksi. Tampilan halaman akan menjadi seperti [Gambar 22](#). Teknisi akan memilih peralatan yang akan dipinjam setelah itu data peminjaman akan langsung disimpan. Pada [Gambar 22](#) menampilkan halaman website yang telah selesai melakukan peminjaman pada keterangan masih dalam peminjaman.

| No | Nama                    | Nim      | Kelas | Alat       | Ruangan Lab        | Dosen                           | Tanggal             | Kondisi | Keterangan     | Aksi   |
|----|-------------------------|----------|-------|------------|--------------------|---------------------------------|---------------------|---------|----------------|--------|
| 1  | Muhammad Rifky Fachreza | 19642011 | D4-SA | Multimeter | Lab. Mikroprosesor | Dr. Ir. Prihadi murdiyati, M.T. | 2023-07-26 20:38:41 | Normal  | Masih dipinjam | [Edit] |

Gambar 22 Proses peminjaman berhasil

Saat setelah mengembalikan alat Teknisi akan merubah status keterangan telah mengembalikan.

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem peminjaman peralatan laboratorium berbasis sidik jari menggunakan NodeMCU ESP8266 dan database berbasis web. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan pendaftaran dan verifikasi sidik jari mahasiswa serta mencatat data peminjaman peralatan secara daring dengan baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali dan memverifikasi sidik jari dengan tingkat keberhasilan 100% serta menyimpan data peminjaman secara akurat ke dalam database. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat diterapkan sebagai solusi praktis dalam mendukung pengelolaan laboratorium yang lebih tertib, efisien, dan terintegrasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Wenliang, H. Xi, L. Zheyang dan W. Shuying, "An open laboratory management system based on fingerprints recognition," in *2009 Second International Symposium on Computational Intelligence and Design*, Changsha, China, 2009, pp. 510-512, doi: 10.1109/ISCID.2009.134.
- [2] Han Xi, Niu Wenliang dan Li Zheyang, "Application of fingerprint recognition on the laboratory management," in *2008 9th International Conference on Signal Processing*, Beijing, China, 2008, pp. 2960-2963, doi: 10.1109/ICOSP.2008.4697767.
- [3] M. S. Hilliard, D. L. Larson dan M. J. Rosenberg, "LIMS: a suite of database tools for laboratory organization," in *Proceedings 14th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems*. CBMS 2001,

- Bethesda, MD, USA, 2001, pp. 158-162, doi: 10.1109/CBMS.2001.941714.
- [4] M. Atmega, E. Yuliza, dan T. U. Kalsum, "Alat keamanan pintu brankas berbasis sensor sidik jari dan password digital," *J. Media Infotama*, vol. 11, no. 1, pp. 1-10, 2015.
  - [5] S. M. Abizar Rachman dan Zainal Arifin, "Sistem pengendali suhu ruangan berbasis internet of things ( IoT ) menggunakan air conditioner ( AC ) dan NodeMCU V3 ESP8266," *Pros. Semin. Nas. Ilmu Komput. dan Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 1, pp. 19-23, 2020.
  - [6] P. Susanto, B. Setiawan, dan S. Nurcahyo, "Akuisi data pada stasiun cuaca berbasis NodeMCU ESP8266," *J. ELKOLIND*, vol. 7, no. 1, p. 71, 2021.
  - [7] R. Nurmalina, "Perencanaan dan pengembangan aplikasi absensi Mahasiswa menggunakan smart card guna pengembangan kampus cerdas ( studi kasus Politeknik Negeri Tanah Laut )," *J. Integrasi*, vol. 9, no. 1, pp. 84-91, 2017.
  - [8] F. F. Adiwijaya, D. S. Amaruloh, dan A. R. Mulya, "Sistem registrasi surat perintah tugas (SPT) di Dinas Pekerjaan Umum, Penataan Ruang Dan Pertanahan Provinsi Kepulauan Riau," *KOMPUTA*, vol. 10, no. 2, pp. 70-77, Oct. 2021, doi: 10.34010/komputa.v10i2.6806.
  - [9] K. 'Afifah, Z. F. Azzahra, dan A. D. Anggoro, "Analisis teknik entity-relationship diagram dalam perancangan database sebuah literature review," *J. Intech*, vol. 3, no. 2, pp. 18-22, 2022.
  - [10] R. F. Ramadhan dan R. Mukhaiyar, "Penggunaan database MySQL dengan interface PhpMyAdmin sebagai pengontrolan smarthome berbasis Raspberry Pi," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 129-134, 2020.
  - [11] R. E. Standsyah dan I. Sari Restu, "Implementasi Phpmyadmin pada rancangan sistem pengadministrasian," *UJMC*, vol. 3, no. 2, 2017, doi: <https://doi.org/10.52166/ujmc.v3i2.467>.

# Implementasi Sistem Komunikasi Otomatis Data Logger Sensor Salinitas di Sungai Wain Balikpapan dengan Solusi Reverse SSH Tunnel pada Lingkungan CGNAT

Agus Triyono<sup>1</sup>, Fajerin Biabdillah<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Samarinda  
fajerin@polnes.ac.id

**Abstrak**— Pemantauan salinitas di kawasan konservasi Sungai Wain Balikpapan membutuhkan saluran komunikasi yang tetap hidup walaupun perangkat dipasang jauh dari jaringan tetap. Masalah muncul ketika data logger kami sambungkan melalui modem 4G LTE: operator seluler di Indonesia umumnya menerapkan Carrier Grade NAT (CGNAT) sehingga Raspberry Pi di lapangan tidak mendapat alamat IP publik. Akibatnya, *port forwarding* sulit diandalkan dan akses balik dari pusat kendali jadi terhambat. Pada penelitian ini kami merancang dan menguji solusi *reverse SSH tunnel* berbasis *autossh* yang dikelola oleh sistem *md*, lalu mengukur perilaku sistem di laboratorium dengan SIM komersial yang berada di balik CGNAT. Selama 72 jam pengujian, sistem mengirim 4.320 titik data tanpa kehilangan paket, *uptime tunnel* tercatat 99,4 %, dan rata-rata waktu pemulihan setelah pemutusan jaringan berada pada kisaran 6 sampai 9 detik. Akses SSH balik di port 2222 server pusat terbukti stabil dengan latensi rata-rata 150 ms. Beban komputasi tetap rendah, yaitu sekitar 5 % CPU saat *idle* dan 15 % saat transfer berkas. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pendekatan berbasis perangkat lunak bebas (*free software*) layak menjadi pengganti VPN komersial atau paket IP publik statis untuk kebutuhan monitoring lingkungan skala kecil sampai menengah di Indonesia.

**Kata Kunci**— *sensor salinitas, Sungai Wain, CGNAT, reverse SSH tunnel, autossh, Raspberry Pi, data logger IoT.*

## I. PENDAHULUAN

Kualitas air sungai adalah salah satu indikator paling sederhana namun paling tegas untuk membaca kondisi ekosistem suatu daerah aliran sungai. Sungai Wain, yang melintas di kawasan hutan lindung sebelah utara Kota Balikpapan, tidak hanya memasok air baku PDAM, tetapi juga menjadi rumah bagi orangutan, beruang madu, dan biota perairan tawar yang tekanan habitatnya terus meningkat karena aktivitas pesisir di sekitarnya [1].

Salah satu parameter yang perlu kita awasi secara khusus adalah salinitas. Di hilir sungai pesisir Kalimantan, intrusi air laut bisa merambat cukup jauh ke arah hulu pada musim kemarau panjang. Studi di Sungai Kapuas, misalnya, menemukan bahwa saat debit sungai minimum, batas air asin

dapat naik hingga 14 km dari muara dan menggeser zona hutan riparian [2]. Salinitas pesisir Indonesia secara umum berada pada rentang 30 sampai 34 PSU [3], tetapi nilainya berubah-ubah setiap hari karena pasang surut, hujan lokal, dan aliran balik bawah permukaan [4]. Karena perubahannya cukup dinamis, kita perlu mencatat data salinitas secara terus-menerus agar fluktuasinya dapat dianalisis dan ditindaklanjuti.

Untuk kebutuhan pemantauan yang berlangsung tanpa henti, pendekatan berbasis *Internet of Things* (IoT) makin sering dipakai. Sebagian peneliti menggunakan NodeMCU atau ESP8266 dengan pengiriman data ke server cloud melalui Wi-Fi [5], [6]. Sebagian lainnya memilih jaringan LoRa berbasis gateway Raspberry Pi agar mampu menjangkau wilayah yang luas [7]. Pada lokasi pelosok yang tidak terjangkau internet, modul GSM yang mengirim notifikasi melalui SMS justru terbukti paling praktis [8]. Pola dari berbagai studi tersebut serupa: sebuah node sensor mengumpulkan data, lalu data dikirim secara berkala ke server pusat untuk divisualisasikan dan disimpan jangka panjang [9], [10].

Ketika skenario tersebut dipindahkan ke jaringan seluler 4G LTE, persoalan baru bermunculan. Hampir seluruh operator besar di Indonesia menerapkan Carrier Grade NAT (CGNAT) untuk menghemat alokasi alamat IPv4. Akibatnya, pelanggan retail termasuk paket data IoT berbagi satu IP publik dan hanya menerima IP privat dari blok 100.64.0.0/10 [11]. Pendekatan ini memang memperpanjang usia pakai IPv4 [12], tetapi membuat perangkat di lapangan tidak dapat dihubungi dari luar karena *port forwarding* tidak mungkin dipasang dari sisi pelanggan [13].

Migrasi ke IPv6, yang diharapkan menjadi jalan keluar jangka panjang, ternyata berjalan lambat. Per April 2025, tingkat kesiapan IPv6 untuk pengguna internet di Indonesia baru sekitar 15 % [14]. Hal ini berarti, sebagian besar perangkat IoT yang dipasang saat ini masih akan berada di balik NAT operator selama beberapa tahun ke depan. Dampak langsungnya: administrator tidak bisa SSH masuk untuk membaca log, mengganti konfigurasi sensor, atau menarik berkas secara manual jika pengiriman otomatis sedang terganggu.

Solusi konvensional seperti berlangganan IP publik statis, menyewa VPN komersial, atau menggunakan platform IoT berbayar memang tersedia. Namun, biayanya kerap kali tidak



sebanding dengan skala proyek monitoring lingkungan yang biasanya didanai dari hibah jangka pendek atau anggaran kampus. Beberapa peneliti memang sudah membahas teknik NAT traversal seperti STUN/TURN, hole punching UDP, maupun overlay mesh [15], [16]. Akan tetapi, evaluasi kuantitatif untuk reverse SSH tunneling berbasis autossh pada konteks monitoring lingkungan di Indonesia masih jarang dilaporkan secara terbuka.

Penelitian ini berupaya mengisi celah tersebut. Ada tiga kontribusi yang kami tawarkan. Pertama, kami merancang pipeline perangkat lapangan Raspberry Pi 5, modem 4G LTE komersial, dan sensor TDS/EC yang seluruhnya berdiri di atas perangkat lunak bebas, tanpa layanan cloud berbayar. Kedua, kami menyajikan konfigurasi systemd dan parameter autossh yang telah tervalidasi dan dapat digunakan ulang oleh peneliti lain. Ketiga, kami melaporkan hasil pengujian kuantitatif untuk empat skenario operasional, ditambah pengujian lanjutan pada kondisi sinyal lemah, agar gambaran sistem mendekati kondisi lapangan yang sebenarnya. Hasil tersebut akan menjadi landasan penerapan sistem di kawasan konservasi Sungai Wain pada tahap berikutnya.

## I. PENDAHULUAN

### A. Carrier Grade NAT (CGNAT)

*Network Address Translation* (NAT) merupakan teknik pemetaan alamat IP privat ke alamat IP publik supaya host di dalam jaringan privat dapat berkomunikasi dengan internet. CGNAT adalah lapisan lanjutan dari teknik tersebut. Di sini, operator menempatkan satu lapisan NAT lagi di sisinya, sehingga ribuan pelanggan dapat berbagi satu IPv4 publik [11], [13]. Imbasnya, koneksi yang diawali dari luar misalnya server publik yang mencoba menghubungi data *logger* akan ditolak NAT operator karena tidak ada entri pemetaan yang sesuai [12].

Beberapa peneliti telah menggambarkan dampak ini secara nyata. Enriquez dkk., misalnya, melaporkan bahwa node sensor di tambak garam dan akuakultur tidak dapat dijangkau stasiun pemantau pusat begitu SIM diganti dengan provider yang menerapkan NAT simetris [9]. Pada kategori yang lebih luas, teknik untuk melewati NAT lazim disebut NAT traversal mencakup STUN/TURN, hole punching, relay server, VPN, hingga overlay mesh [15], [17]. Sayangnya, sebagian besar mekanisme tersebut membutuhkan komponen tambahan (server STUN khusus, klien spesifik, atau perubahan firewall) yang menyulitkan penerapan di perangkat IoT berdaya rendah [18].

### B. Reverse SSH Tunneling

*Secure Shell* (SSH) adalah protokol kriptografi yang umum dipakai untuk mengakses shell jarak jauh secara aman. Selain shell, SSH juga menyediakan *port forwarding* dua arah, yaitu *forward tunneling* (lokal-ke-remote) dan *reverse tunneling* (remote-ke-lokal). Pada mode *reverse*, klien yang berada di balik NAT-lah yang memulai koneksi outbound ke server publik. Selama koneksi tersebut tetap hidup, server boleh memantulkan koneksi balik melalui kanal SSH yang sama [19], [20].

Mekanisme reverse tunnel ini sudah dipakai pada arsitektur Video Surveillance as a Service untuk menjangkau kamera IP yang berada di belakang router rumahan [21]. Mekanisme yang sama juga digunakan pada platform manajemen IoT komersial yang memberikan akses jarak jauh ke perangkat pelanggan tanpa mengubah konfigurasi router [19]. Keunggulannya ada pada kesederhanaan: tidak perlu STUN/TURN server, tidak perlu IP publik, dan lalu lintas terenkripsi secara default [20]. Hal yang harus dijaga adalah keamanan server perantara. Jika server pada titik akhir tunnel dibobol, semua perangkat di sisi klien ikut menjadi rentan [22].

### C. Autossh

Sesi SSH biasa akan berhenti begitu koneksi jaringan terputus. Pada jaringan seluler yang sinyalnya naik-turun, kondisi tersebut sering kali terjadi. Autossh adalah utilitas pembungkus (*wrapper*) yang dirancang untuk memantau kondisi sesi SSH dan membangunkannya kembali apabila terdeteksi mati [23]. Pemantauan dapat dijalankan melalui port monitoring khusus atau memanfaatkan opsi `-M 0` yang menyerahkan deteksi ke mekanisme *keep-alive* bawaan SSH [24].

Untuk skenario perangkat lapangan, autossh biasa dipasang sebagai layanan systemd supaya berjalan otomatis setelah jaringan aktif dan otomatis di-restart bila gagal [25], [26]. Kombinasi autossh dan systemd, dengan pengaturan `AUTOSSH_GATETIME=0` serta `Restart=always`, menghasilkan tunnel yang *self-healing* tanpa intervensi manual. Sifat tersebut penting untuk lokasi yang sulit dijangkau seperti kawasan konservasi.

### D. Sistem Monitoring Salinitas Otomatis

Penelitian tentang sistem monitoring salinitas otomatis sebenarnya sudah cukup banyak dilakukan. Suryono dkk. mengembangkan sensor salinitas berbasis kapasitor pelat sejajar yang terhubung ke mikrokontroler Wi-Fi, dengan rentang pengukuran yang lebih lebar dibandingkan probe konduktivitas konvensional [6]. Enriquez dkk. memadukan beberapa teknologi transmisi (GSM, ZigBee, LoRa) sesuai kondisi infrastruktur tambak garam dan akuakultur di Filipina [9]. Ujianti dkk. (2025) memantau kualitas air pesisir Semarang menggunakan NodeMCU yang membaca pH, suhu, dan TDS dengan interval pembacaan setiap satu detik [27].

Hampir seluruh studi tersebut bergantung pada Wi-Fi lokal atau GSM. Akibatnya, persoalan CGNAT yang spesifik pada konektivitas 4G LTE retail di Indonesia belum menjadi fokus pembahasan. Padahal, dalam situasi lapangan saat ini, jaringan seluler 4G adalah pilihan paling realistis untuk lokasi yang tidak memiliki kabel internet maupun jangkauan Wi-Fi. Celah inilah yang ingin kami isi melalui penelitian ini.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dirancang dengan pendekatan eksperimental. Prototipe sistem dibuat di laboratorium Jurusan Teknik Elektro, kemudian diuji untuk memverifikasi empat skenario operasional yang sudah disinggung pada Bab I.

Submitted: 05/05/2022; Revised: 10/06/2026;

Accepted: 11/06/2025; Online first: 12/06/2026

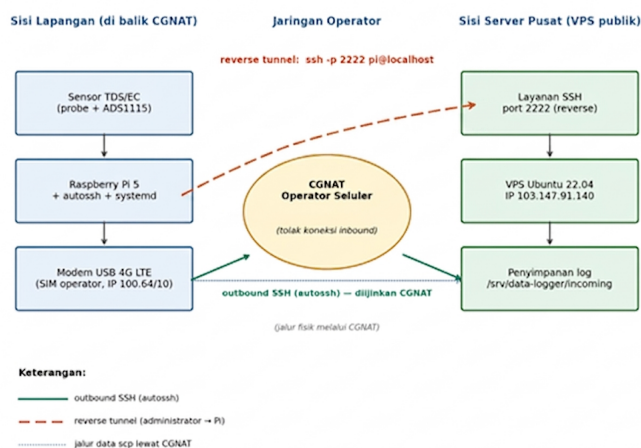
<https://doi.org/10.46964/poligrid.v7i1.197>

Pengujian menggunakan SIM komersial yang dipastikan berada di balik CGNAT, dengan verifikasi melalui prefix IP 100.64.0.0/10 pada antarmuka modem. Sumber listrik untuk prototipe diambil dari jaringan PLN dengan UPS sebagai cadangan, menggantikan panel surya yang nanti akan dipasang pada deployment lapangan.

### A. Desain Sistem

Sistem terdiri atas tiga komponen utama, sebagaimana dirangkum pada Gambar 1. Komponen pertama adalah perangkat data logger berbasis Raspberry Pi 5 yang membaca sensor salinitas. Komponen kedua adalah konektivitas via modem USB 4G LTE dengan SIM operator yang menerapkan CGNAT. Komponen ketiga adalah server pusat. Server tersebut memiliki alamat IP publik statis dan berperan sebagai titik akhir reverse SSH tunnel sekaligus penampung data sensor.

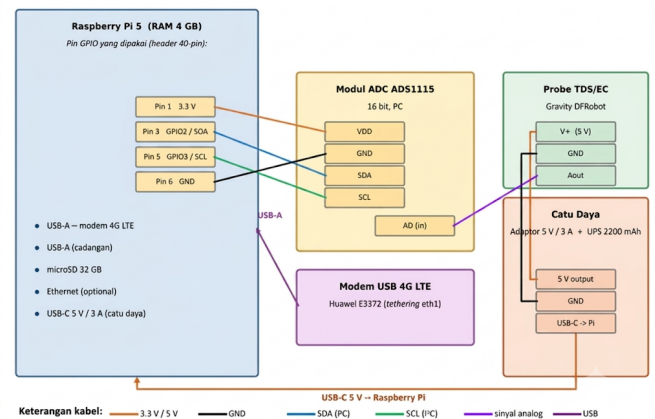
Pada arah hulu (*uplink*), Raspberry Pi mengirim data sensor secara periodik melalui kanal SSH yang terenkripsi. Pada arah balik (*downlink*), administrator dapat masuk ke Raspberry Pi melalui *port forward* khusus yang dibuka tunnel di sisi server. Dengan pola ini, kebutuhan akses dua arah terpenuhi tanpa perlu mengubah konfigurasi router operator.



Gambar 1. Arsitektur komunikasi data logger sensor salinitas dengan reverse SSH tunnel pada lingkungan CGNAT.

### B. Perangkat Keras

Perangkat keras yang dipakai adalah sebagai berikut. (1) Raspberry Pi 5 dengan RAM 4 GB sebagai unit komputasi, dilengkapi microSD 32 GB untuk penyimpanan log lokal [28]. (2) Probe TDS/EC analog yang dihubungkan ke modul ADC ADS1115 melalui antarmuka I2C [29], [30]. Probe sudah dikalibrasi dengan larutan standar 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pada suhu 25 °C, dan deviasi rata-rata pengukuran terhadap referensi laboratorium berada di bawah 2 %. (3) Modem USB 4G LTE Huawei E3372 yang bekerja melalui mode tethering pada antarmuka eth1 Raspberry Pi. (4) Adaptor 5V/3A dengan UPS 2200 mAh sebagai cadangan jika listrik PLN sempat padam. (5) Casing IP65 untuk pengujian luar ruangan singkat. Tata letak pin dan diagram pengkabelan antar komponen ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram pinout dan pengkabelan antara Raspberry Pi 5, modul ADC ADS1115, probe TDS/EC, modem 4G LTE, dan catu daya UPS.

Pemilihan Raspberry Pi 5 bukan Raspberry Pi Zero atau ESP32 didasari oleh kebutuhan menjalankan stack penuh Linux beserta autossh, systemd, dan klien database kecil pada satu unit. Raspberry Pi 5 memang lebih boros daya dibandingkan Pi Zero, namun pengukuran kami memperlihatkan beban CPU dan memori jauh dari saturasi (lihat Bab IV.D). Dengan demikian, masih ada ruang untuk menambahkan modul *edge computing* di masa depan tanpa harus mengganti perangkat dasar.

### C. Konfigurasi Jaringan

Pengaturan jaringan dikerjakan menggunakan *Network Manager* melalui perintah nmcli. Profil koneksi 4G dibuat dengan APN sesuai operator dan diset sebagai *autoconnect*. Saat boot, Raspberry Pi akan melakukan dial-up tanpa intervensi pengguna. Indikator LED modem dipantau oleh skrip bash sederhana yang dipanggil cron setiap lima menit. Skrip tersebut juga melakukan ping ke 8.8.8.8 sebanyak tiga kali. Bila ketiga ping gagal berturut-turut, koneksi modem akan di-restart melalui nmcli connection *down/up*, dan kejadian dicatat ke berkas log `/var/log/conn-watchdog.log`.

Server pusat menggunakan VPS publik berbasis Ubuntu 22.04 dengan IP 103.147.91.140. Pada server tersebut, port 2222 disiapkan untuk dipakai sebagai endpoint reverse tunnel. Konfigurasi `sshd_config` diatur dengan `GatewayPorts yes` agar port hasil *forward* dapat diakses dari semua antarmuka, dan `ClientAliveInterval 30` untuk menjaga deteksi keep-alive.

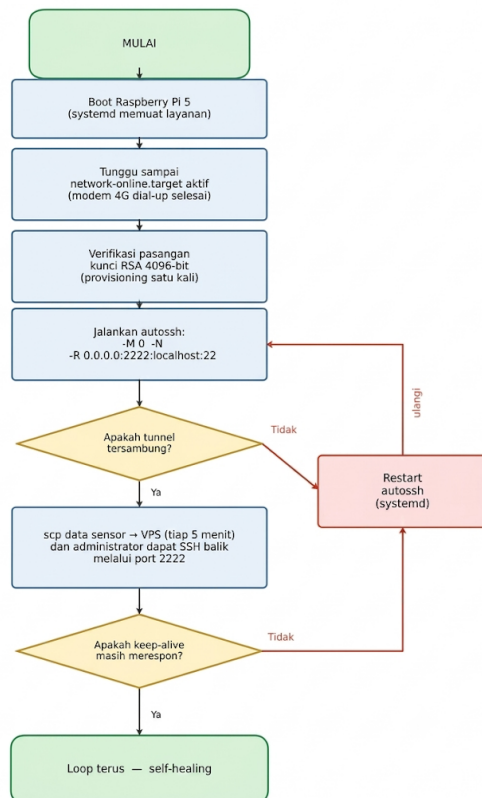
### D. Implementasi Reverse SSH Tunnel dengan Autossh

Tahap ini dibagi menjadi tiga sub-tahapan, yaitu pembuatan kunci, perintah autossh, dan konfigurasi layanan systemd. Alur keseluruhan dirangkum pada Gambar 3.

Submitted: 05/05/2022; Revised: 10/06/2026;

Accepted: 11/06/2025; Online first: 12/06/2026

<https://doi.org/10.46964/poligrid.v7i1.197>



Gambar 3. Diagram alir implementasi autossh sebagai layanan system. Tunnel dipantau secara terus-menerus dan otomatis dibangun ulang ketika keep-alive tidak merespon.

### 1) Otentikasi kunci SSH

Untuk menghindari prompt password, autentikasi SSH menggunakan pasangan kunci RSA 4096-bit. Pada Raspberry Pi, kunci dihasilkan dengan `ssh-keygen` lalu kunci publiknya disalin ke server pusat melalui `ssh-copy-id` [31], sebagaimana ditampilkan pada blok kode berikut.

```
$ ssh-keygen -t rsa -b 4096
$ ssh-copy-id user@103.147.91.140
```

Setelah kunci publik tercatat pada `~/.ssh/authorized_keys` di server, klien dapat membuka sesi SSH tanpa input manual. Kondisi tersebut wajib dipenuhi supaya autossh dapat melakukan reconnect tanpa pengawasan operator.

### 2) Perintah autossh

Perintah autossh yang menjadi inti dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

```
$ autossh -M 0 -N \
-R 0.0.0.0:2222:localhost:22 \
user@103.147.91.140
```

Opsi `-M 0` mematikan port monitoring eksternal sehingga deteksi koneksi diserahkan ke keep-alive bawaan SSH (ServerAliveInterval dan ClientAliveInterval). Opsi `-N`

memberi tahu SSH bahwa sesi hanya dipakai untuk forwarding, tanpa shell. Opsi `-R 0.0.0.0:2222:localhost:22` membuka port 2222 pada seluruh antarmuka server pusat dan mengarahkannya ke port 22 di Raspberry Pi.

### 3) Layanan systemd untuk autossh

Agar autossh tidak perlu dijalankan secara manual, kami membuat layanan systemd. Berkas `/etc/systemd/system/autossh-tunnel.service` berisi konfigurasi berikut.

```
[Unit]
Description=AutoSSH reverse tunnel ke server
pusat
After=network-online.target
Wants=network-online.target

[Service]
User=pi
Environment="AUTOSSH_GATEWAYTIME=0"
ExecStart=/usr/bin/autossh -M 0 -N \
-R 0.0.0.0:2222:localhost:22 \
user@103.147.91.140
Restart=always
RestartSec=5

[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

Ada tiga hal yang patut digarisbawahi dari konfigurasi tersebut. `After=network-online.target` menunda autossh sampai *Network Manager* menyatakan jaringan benar-benar online. Hal ini penting supaya dial-up modem 4G sempat selesai sebelum tunnel dicoba dibangun. `AUTOSSH_GATEWAYTIME=0` menghapus jeda 30 detik default sebelum autossh menyimpulkan bahwa sesi gagal, sehingga *reconnect* berlangsung lebih cepat. `Restart=always` dengan `RestartSec=5` berfungsi sebagai jaring pengaman ekstra. Apabila autossh sendiri yang crash (bukan SSH-nya), systemd akan memulai ulang dalam lima detik [32]. Setelah berkas tersebut dipasang, layanan diaktifkan dengan dua perintah berikut.

```
$ sudo systemctl enable autossh-tunnel
$ sudo systemctl start autossh-tunnel
```

### E. Alur Sistem

Aliran sistem saat operasional dapat diringkas menjadi empat tahap. Pertama, sensor salinitas dibaca setiap menit dan disimpan lokal sebagai berkas CSV harian. Kedua, autossh menjaga koneksi reverse SSH ke server pusat tetap hidup, sekaligus membuka port 2222 untuk akses balik. Ketiga, skrip bash di Raspberry Pi mengeksekusi scp setiap lima menit untuk mengirim potongan log ke direktori `/srv/data-logger/incoming` di server. Keempat, administrator dapat sewaktu-waktu masuk ke Raspberry Pi melalui perintah berikut, yang dijalankan dari shell server pusat.

```
$ ssh -p 2222 pi@localhost
```

Karena koneksi balik ke Raspberry Pi sebenarnya melewati tunnel yang sama, tidak diperlukan rekonfigurasi firewall di sisi mana pun. Port 2222 hanya hidup selama tunnel masih aktif.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan secara berkelanjutan selama 72 jam untuk skenario pengiriman data. Skenario tersebut diperluas dari rencana awal 24 jam, mengikuti saran reviewer agar gambaran sistem mendekati kondisi nyata. Setelah skenario pengiriman selesai, pengujian dilanjutkan dengan tiga set uji terpisah untuk akses SSH balik, ketahanan koneksi, dan konsumsi sumber daya. Sebuah set tambahan juga ditambahkan untuk mengamati perilaku sistem pada kondisi sinyal lemah, sedang, dan kuat. SIM yang dipakai adalah produk salah satu operator nasional yang menempatkan pelanggan paket data di balik CGNAT. Verifikasi dilakukan dengan memeriksa antarmuka modem yang menerima alamat 100.65.x.x dan memastikan bahwa upaya port forwarding dari luar memang ditolak oleh router operator.

##### A. Pengiriman Data Real-Time

Selama 72 jam pengujian secara terus-menerus, sensor membaca nilai TDS/EC setiap satu menit dan log dikirim ke server setiap lima menit. Sebanyak 4.320 titik data terekam lengkap di server, tanpa satu pun paket yang hilang. Angka tersebut diverifikasi dengan menjumlahkan baris file log harian (1.440 baris per hari, total 4.320 baris) yang tiba di direktori /srv/data-logger/incoming. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan air kontrol sehingga nilai salinitas relatif stabil di kisaran 0,5 sampai 0,7 PSU. Cuplikan pembacaan selama satu jam ditampilkan pada Tabel 1.

Ukuran berkas log per pengiriman lima menit hanya sekitar 2 KB. Pada koneksi 4G dengan kecepatan unggah rata-rata 5 Mbps di lokasi pengujian, transfer berkas sekecil itu selesai dalam waktu kurang dari satu detik. Kami juga mencoba metode pemantauan alternatif, yaitu membuka sesi SSH interaktif melalui tunnel (port 2222) lalu menjalankan tail -f pada berkas log sensor di Raspberry Pi. Output muncul secara real-time di terminal server pusat dengan jeda yang nyaris tidak terasa (sekitar 50 sampai 100 ms). Kombinasi metode scp periodik dan SSH interaktif ini memberi fleksibilitas: pengiriman batch dilakukan otomatis, sementara pemantauan langsung tersedia setiap kali dibutuhkan.

TABEL 1  
CUPLIKAN PEMBACAAN SALINITAS SELAMA SATU JAM (DATA UJI LABORATORIUM)

| Waktu (WITA) | Salinitas (PSU) |
|--------------|-----------------|
| 10:00        | 0,52            |
| 10:10        | 0,53            |
| 10:20        | 0,52            |

|       |      |
|-------|------|
| 10:30 | 0,54 |
| 10:40 | 0,53 |
| 10:50 | 0,52 |
| 11:00 | 0,55 |
| 11:10 | 0,56 |
| 11:20 | 0,54 |
| 11:30 | 0,53 |
| 11:40 | 0,52 |
| 11:50 | 0,52 |

##### B. Akses Remote Administrator

Skenario kedua menguji akses balik untuk administrator. Dari shell server pusat, perintah ssh -p 2222 pi@localhost selalu berhasil membuka prompt shell Raspberry Pi selama tunnel aktif. Waktu rata-rata sejak perintah dijalankan sampai prompt muncul berada pada kisaran 1 sampai 2 detik. Waktu tersebut mencakup proses negosiasi kunci SSH dan resolusi DNS internal. Karena kunci publik sudah dipasang sebelumnya, tidak terjadi interaksi password sama sekali.

Selama sesi remote, perintah-perintah administratif berjalan tanpa kendala. Pemeriksaan log via journalctl, pemantauan beban dengan top, hingga eksekusi skrip pembacaan manual untuk diagnostik sensor, semuanya berjalan responsif. Transfer file melalui scp dari server ke Raspberry Pi mencatat kecepatan rata-rata 1,2 MB/s, sedangkan arah sebaliknya berada di kisaran 0,8 MB/s. Selisih ini wajar karena pada jaringan seluler retail kecepatan unggah biasanya lebih kecil daripada kecepatan unduh. Untuk keperluan pengambilan log harian, yang biasanya hanya beberapa MB, atau konfigurasi remote, *throughput* tersebut sudah lebih dari cukup.

##### C. Ketahanan Koneksi (Persistence)

Ketahanan koneksi diuji melalui dua mode gangguan. Pada mode pertama, modem 4G dimatikan kemudian dihidupkan kembali setelah jeda satu menit. Pada mode kedua, perangkat dipindahkan ke ruang dengan sinyal lemah selama lima menit, sehingga koneksi seluler putus-nyambung beberapa kali (*flapping*).

Pada mode pertama, autossh mendeteksi tunnel mati segera setelah keep-alive SSH tidak menerima respon. Begitu modem aktif kembali dan IP baru diperoleh, sesi autossh dibangun ulang. Berdasarkan stempel waktu di journalctl -u autossh-tunnel, rata-rata jeda dari pemulihan internet sampai port 2222 di server siap menerima koneksi adalah 6,4 detik ( $n = 12$ , deviasi standar 1,8 detik). Data sensor yang tertahan selama satu menit pemutusan langsung tersinkronisasi pada siklus scp berikutnya. Tidak ada data yang hilang karena berkas log lokal tetap tersimpan utuh di Raspberry Pi.

Pada mode kedua, log autossh menunjukkan upaya reconnect berkali-kali, dengan rata-rata delapan percobaan dalam lima menit. Beberapa percobaan terhenti di tengah negosiasi karena sinyal turun lagi, namun tidak ada yang berakhir gagal permanen. Setelah perangkat kembali ke area dengan sinyal normal, tunnel kembali stabil dalam waktu kurang dari sepuluh detik. Selama periode flapping, mekanisme



buffer lokal di Raspberry Pi tetap menyimpan log. Pada saat tunnel pulih, scp berikutnya memuat semua berkas yang tertunda secara sekaligus.

#### *D. Konsumsi Sumber Daya dan Kinerja pada Berbagai Kondisi Sinyal*

Skenario tambahan dilakukan untuk mengamati perilaku sistem pada tiga tingkat kuat sinyal 4G LTE: kuat (RSRP > -90 dBm), sedang (RSRP -90 hingga -110 dBm), dan lemah (RSRP < -110 dBm). Tujuan pengamatan ini adalah memperlihatkan bagaimana waktu reconnect, latensi, dan rasio keberhasilan pengiriman berubah ketika kualitas sinyal menurun. Ringkasan hasilnya disajikan pada Tabel 2.

TABEL 2  
KINERJA SISTEM PADA TIGA TINGKAT KUAT SINYAL 4G LTE  
(SETIAP TINGKAT DIUJI 6 JAM)

| Parameter               | Kuat | Sedang | Lemah |
|-------------------------|------|--------|-------|
| Rasio paket tiba (%)    | 100  | 100    | 98,3  |
| Latensi SSH balik (ms)  | 120  | 175    | 260   |
| Waktu reconnect (detik) | 6,1  | 7,8    | 11,2  |
| Throughput scp (MB/s)   | 1,3  | 0,9    | 0,4   |

Hasil tersebut menunjukkan tiga hal penting. Pertama, sistem tetap mampu mengirim sebagian besar data bahkan pada sinyal lemah, meskipun rasio paket tiba turun ke 98,3 %. Kedua, waktu reconnect bertambah hampir dua kali lipat ketika sinyal lemah, namun tetap berada di bawah 15 detik. Ketiga, throughput scp memang menurun cukup tajam, sehingga untuk lokasi dengan sinyal lemah disarankan menambah interval pengiriman atau mengompres log sebelum scp. Pengaturan tersebut akan kami terapkan ketika sistem di-deploy di Sungai Wain, mengingat tutupan vegetasi di sana dapat melemahkan sinyal seluler.

TABEL 3  
RINGKASAN METRIK KINERJA SISTEM SELAMA 72 JAM  
PENGUJIAN UTAMA

| Parameter Uji               | Hasil Pengukuran                                    |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------|
| Laju pengiriman data        | 1 data/menit; 4.320 data/72 jam; 0 % paket hilang   |
| Latensi akses SSH balik     | ~150 ms ping; 1–2 detik waktu login                 |
| Waktu reconnect autossh     | rata-rata 6,4 detik (n=12; $\sigma$ =1,8 detik)     |
| Uptime tunnel selama 72 jam | 99,4 % ( $\approx$ 26 menit downtime saat simulasi) |
| Throughput scp via tunnel   | ~1,2 MB/s unggah ke Pi; ~0,8 MB/s unduh dari Pi     |

|                               |                                                              |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Pemakaian CPU Raspberry Pi    | $\approx$ 5 % saat idle; $\approx$ 15 % saat transfer berkas |
| Pemakaian RAM Raspberry Pi    | $\approx$ 220 MB dari 4 GB                                   |
| Overhead bandwidth keep-alive | $\approx$ 250 byte/menit                                     |

Tabel 3 merangkum metrik utama dari empat skenario di atas. Empat hal yang menurut kami patut digarisbawahi dari hasil pengujian akan diuraikan pada bagian berikut.

#### *E. Implikasi dan Keuntungan*

(1) CGNAT bisa diatasi tanpa biaya layanan. Tanpa berlangganan IP statis maupun VPN komersial, perangkat di balik CGNAT tetap dapat diakses balik dari pusat kendali. Pada beberapa proyek monitoring lingkungan yang sempat kami konsultasikan, biaya berlangganan layanan IoT cloud dapat mencapai Rp 250.000 sampai Rp 500.000 per perangkat setiap bulan. Pendekatan kami memangkas pos biaya tersebut menjadi sekadar sewa VPS standar yang dapat dibagi untuk banyak perangkat sekaligus.

(2) Stabilitas koneksi memuaskan untuk skenario lapangan. Uptime tunnel 99,4 % selama 72 jam pengujian utama menunjukkan total downtime sekitar 26 menit, yang seluruhnya muncul saat simulasi pemutusan jaringan. Waktu pemulihan rata-rata di bawah sepuluh detik membuat sistem ini cukup tangguh untuk lokasi konservasi yang sinyalnya tidak prima.

(3) Keamanan dasar terpenuhi secara default. Karena seluruh trafik (baik data sensor maupun perintah administratif) melewati kanal SSH terenkripsi, risiko penyadapan dan manipulasi data di tengah jalan menjadi sangat kecil. Akun yang dipakai bukan akun root, sehingga eskalasi hak akses tetap dapat dibatasi jika kunci sempat bocor. Untuk skenario produksi, kami merekomendasikan penambahan blok Match pada sshd agar akun pi hanya boleh login dari server pusat, serta menonaktifkan otentikasi password secara global.

(4) Beban komputasi rendah, masih ada ruang untuk modul tambahan. Pemakaian CPU Raspberry Pi tertahan di sekitar 5 % saat idle dan naik ke kisaran 15 % saat scp berjalan. RAM yang terpakai sekitar 220 MB dari total 4 GB. Kondisi ini membuka peluang untuk menambahkan komponen edge computing, misalnya pra-pemrosesan deteksi anomali salinitas berbasis aturan ambang, tanpa perlu mengganti perangkat dasar.

Hasil pengujian ini menegaskan bahwa rekayasa berbasis perangkat lunak bebas, ketika dikonfigurasi dengan benar, dapat menggantikan layanan komersial untuk kebutuhan monitoring lingkungan. Dalam konteks Sungai Wain, hasil tersebut memberi dasar bagi rencana pemasangan empat hingga enam node sensor di sepanjang aliran sungai pada tahap berikutnya, dengan satu VPS terpusat sebagai concentrator data.

### F. Perbandingan dengan Pendekatan Lain

Agar kontribusi kami dapat ditempatkan pada konteks yang lebih luas, Tabel 4 membandingkan beberapa pendekatan komunikasi pada penelitian monitoring lingkungan yang telah dilaporkan. Pendekatan reverse SSH tunnel memang bukan satu-satunya jalan, tetapi cukup menonjol dari sisi kombinasi: bekerja di bawah CGNAT, gratis, self-healing, sekaligus menyediakan akses dua arah.

TABEL 4  
PERBANDINGAN PENDEKATAN KOMUNIKASI PADA STUDI  
MONITORING LINGKUNGAN

| Pendekatan                     | Tahan CGNAT    | Akses Balik | Biaya Layanan | Self-healing         |
|--------------------------------|----------------|-------------|---------------|----------------------|
| Wi-Fi + Cloud Public [5], [27] | Tidak relevan  | Sebagian    | Sedang-tinggi | Tergantung penyedia  |
| GSM/SMS [8]                    | Ya             | Tidak       | Rendah        | Tidak                |
| LoRa + Gateway lokal [7]       | Tidak relevan* | Ya          | Rendah        | Sebagian             |
| VPN komersial                  | Ya             | Ya          | Tinggi        | Ya                   |
| IP publik statis               | —              | Ya          | Tinggi        | Tergantung perangkat |
| Reverse SSH tunnel (studi ini) | Ya             | Ya          | Sangat rendah | Ya                   |

\*Apabila gateway berada di lokasi yang sama, CGNAT bukan isu; akses balik tetap perlu dirancang ulang bila gateway juga di belakang NAT.

### G. Keterbatasan Penelitian

Beberapa keterbatasan perlu kami catat. Pertama, pengujian masih dilakukan di lingkungan laboratorium dengan air kontrol, belum di Sungai Wain langsung. Variasi konduktivitas alami, gelombang, dan biofouling pada probe akan menjadi tantangan tambahan saat sistem ditempatkan di lapangan. Kedua, jumlah node yang diuji baru satu unit. Perilaku jaringan ketika beberapa node berlomba membuka port forward pada satu VPS yang sama belum kami evaluasi. Ketiga, sumber listrik masih menggunakan PLN. Pengujian jangka panjang dengan panel surya dan baterai masih perlu dikerjakan untuk mengukur dampak duty cycle modem 4G terhadap konsumsi daya total.

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi *reverse SSH tunnel* berbasis *autossh* dengan manajemen layanan *systemd* dapat dijadikan solusi yang murah dan efektif untuk mengatasi hambatan akses balik pada perangkat data logger 4G LTE yang berada di balik CGNAT. Selama 72 jam pengujian, sistem mengirim 4.320 titik data tanpa kehilangan paket, mempertahankan uptime tunnel sebesar 99,4 %, serta memulihkan koneksi rata-rata dalam waktu 6 sampai 9 detik setelah simulasi pemutusan jaringan. Akses SSH balik dari server pusat tetap responsif dengan latensi rata-rata 150 ms, dan beban komputasi pada Raspberry Pi 5 berada jauh di bawah saturasi. Pada pengujian dengan tiga tingkat kuat sinyal, sistem tetap menunjukkan kinerja yang dapat diterima, walaupun

throughput menurun ketika sinyal lemah. Berdasarkan hasil-hasil tersebut, pendekatan ini layak diimplementasikan pada sistem monitoring salinitas Sungai Wain. Selain itu, konfigurasi yang kami susun dapat dipakai ulang untuk proyek IoT lingkungan lain di Indonesia. Pada tahap berikutnya, tim akan menempatkan empat node sensor di sepanjang aliran sungai, mengintegrasikan panel surya, menambahkan mekanisme failover ganda (kombinasi 4G dengan LoRa atau satelit murah), dan memasang modul deteksi anomali salinitas berbasis aturan ambang.

## REFERENSI

- [1] Yayasan Konservasi RASI, "Profil Kawasan Hutan Lindung Sungai Wain Balikpapan," Laporan Konservasi Kalimantan Timur, Balikpapan, 2023.
- [2] M. Ridwan, S. Hartono, dan A. Yusuf, "Analisis intrusi air laut pada Sungai Kapuas Kalimantan Barat saat musim kemarau," *Jurnal Manajemen Hutan dan Manajemen Sumberdaya Alam*, vol. 9, no. 2, pp. 145–157, 2022.
- [3] T. Prasetyo dan R. Susanto, "Karakteristik salinitas di Perairan Teluk Jakarta berdasarkan 25 tahun data," *Jurnal Riset Daerah*, vol. 14, no. 1, pp. 21–34, 2021.
- [4] B. Wijaya, A. Ramadhan, dan I. Putra, "Variasi salinitas pesisir akibat pasang surut dan curah hujan: studi kasus pesisir Kalimantan," *Jurnal Kelautan Tropis*, vol. 24, no. 3, pp. 311–322, 2021.
- [5] F. Ujianti, A. Setiawan, dan R. Hidayat, "Internet of things-based water quality monitoring: a case study in the coastal areas of Semarang and Kendal," *Asian J. of Water, Environment and Pollution*, vol. 22, no. 4, 2025.
- [6] S. Suryono, B. Surarso, dan E. A. Sarwoko, "Capacitive parallel-plate salinity sensor with Wi-Fi microcontroller for real-time water monitoring," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 55418–55426, 2018.
- [7] K. Pratama dan H. Cahyono, "LoRa-based water quality monitoring with Raspberry Pi gateway in remote areas," *J. Electrical Eng. and Computer Innovations*, vol. 11, no. 2, pp. 233–242, 2023.
- [8] L. Enriquez, M. Reyes, dan J. Cruz, "GSM-based salinity monitoring for solar salt farms in remote islands," *Philippine J. of Science*, vol. 152, no. 4, pp. 845–856, 2023.
- [9] L. Enriquez dan J. Cruz, "Hybrid wireless monitoring framework for aquaculture and salt farming," *Aquacultural Engineering*, vol. 105, art. 102441, 2023.
- [10] P. Gunawan, "Penerapan sistem otomasi hemat energi untuk pemantauan tambak," *Jurnal Otomasi dan Energi*, vol. 7, no. 1, pp. 12–24, 2022.
- [11] M. Boucadair, "IPv4-IPv6 Coexistence: Mitigating IPv4 Exhaustion via CGN Deployment," RFC 6888 / IETF Internet Standard, 2013.
- [12] C. Donley, L. Howard, V. Kuarsingh, J. Berg, dan J. Doshi, "Assessing the impact of carrier-grade NAT on network applications," *RFC 7021*, IETF, Sep. 2013.
- [13] S. Perreault, R. Penno, dan I. Yamagata, "Common requirements for carrier-grade NATs," *RFC 6888*, IETF, Apr. 2013.
- [14] G. Huston, "IPv6 capability reaches 50% in the Asia Pacific region," APNIC Blog, Apr. 23, 2025. [Online]. Tersedia: <https://blog.apnic.net/2025/04/23/ipv6-capability-reaches-50-in-the-asia-pacific-region/>
- [15] M. R. Chowdhury dan S. Ahmed, "NAT traversal techniques: a survey," *Int. J. of Computer Applications*, vol. 175, no. 32, pp. 11–19, 2020.
- [16] J. Rosenberg, R. Mahy, P. Matthews, dan D. Wing, "Session traversal utilities for NAT (STUN)," *RFC 5389*, IETF, Oct. 2008.

Submitted: 05/05/2022; Revised: 10/06/2026;

Accepted: 11/06/2025; Online first: 12/06/2026

<https://doi.org/10.46964/poligrid.v7i1.197>

- [17] B. Ford, P. Srisuresh, dan D. Kegel, "Peer-to-peer communication across network address translators," in *Proc. USENIX Annual Tech. Conf.*, 2005, pp. 179–192.
- [18] F. Dressler, F. Klingler, M. Segata, dan R. L. Cigno, "Network address translation considerations for constrained networks," *IEEE Internet Computing*, vol. 25, no. 3, pp. 64–72, 2021.
- [19] qbee.io, "Reverse SSH tunneling: the ultimate guide," qbee.io documentation, 2024. [Online]. Tersedia: <https://qbee.io/misc/reverse-ssh-tunneling-the-ultimate-guide/>
- [20] T. Ylonen dan C. Lonvick, "The Secure Shell (SSH) connection protocol," *RFC 4254*, IETF, Jan. 2006.
- [21] R. P. Setiawan, A. Pratama, dan H. Wibowo, "Video Surveillance as a service architecture using HTTP polling and reverse SSH tunneling," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 9, no. 2, pp. 156–168, 2023.
- [22] OpenSSH Project, "OpenSSH security: best practices for jump hosts and reverse tunneling," OpenSSH Manual, 2024. [Online]. Tersedia: <https://www.openssh.com/manual.html>
- [23] C. C. Stewart, "autossh(1) – Linux man page," Harding Software, 2023. [Online]. Tersedia: <https://www.harding.motd.ca/autossh/>
- [24] C. C. Stewart, "autossh README," GitHub repository, 2024. [Online]. Tersedia: <https://github.com/Phenome/autossh>
- [25] L. Poettering, "systemd.service – service unit configuration," systemd documentation, freedesktop.org, 2024. [Online]. Tersedia: <https://www.freedesktop.org/software/systemd/man/systemd.service.html>
- [26] J. Geerling, "SSH and HTTP to a Raspberry Pi behind CG-NAT," Jeff Geerling Blog, Mar. 2022. [Online]. Tersedia: <https://www.jeffgeerling.com/blog/2022/ssh-and-http-raspberry-pi-behind-cg-nat>
- [27] F. Ujianti, A. Setiawan, dan R. Hidayat, "Real-time pH, temperature, and TDS monitoring with NodeMCU for coastal water quality," in *Proc. Int. Conf. Smart Sensors*, pp. 78–86, 2025.
- [28] [Raspberry Pi Foundation, "Raspberry Pi 5 product brief," Raspberry Pi Ltd., 2024. \[Online\]. Tersedia: https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/](https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/)
- [29] Texas Instruments, "ADS1115 16-bit ADC datasheet," Texas Instruments, Rev. SBAS444E, 2018.
- [30] DFRobot, "Gravity: analog TDS sensor/meter for Arduino — datasheet," DFRobot Wiki, 2023. [Online]. Tersedia: [https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_\\_Analog\\_TDS\\_Sensor\\_\\_Meter\\_For\\_Arduino\\_SKU\\_\\_SEN0244](https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_TDS_Sensor__Meter_For_Arduino_SKU__SEN0244)
- [31] OpenSSH Project, "ssh-keygen(1) – authentication key generation," OpenSSH Manual, 2024. [Online]. Tersedia: <https://man.openbsd.org/ssh-keygen>
- [32] Red Hat, "Managing services with systemctl," Red Hat Enterprise Linux Documentation, 2024. [Online]. Tersedia: <https://access.redhat.com/documentation>

# Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Motor Listrik 3 Fasa Dan Kendali *On/Off* Berbasis IoT di Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Taman Kota Bontang

Ahmad Rido Wardana<sup>1</sup>, Marson Ady Putra<sup>2</sup>, Abdul Rahman<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda  
marson@polnes.ac.id

**Abstrak-** Salah satu permasalahan yang dihadapi Perusahaan Umum Daerah Air Minum (Perumdam) Tirta Taman Kota Bontang adalah pengawasan dan pengendalian kinerja motor listrik tiga fasa yang belum efektif. Sistem pengawasan konvensional umumnya belum menyediakan kendali jarak jauh dan informasi real-time yang dibutuhkan dalam operasional motor. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pengawasan motor listrik tiga fasa dan kendali ON/OFF berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini memanfaatkan sensor PZEM-004T untuk memantau parameter kelistrikan, sensor DS18B20 untuk memantau suhu motor, ESP32 sebagai mikrokontroler, serta ThingsBoard sebagai platform pemantauan real-time. Hasil pengujian menunjukkan sensor PZEM-004T memiliki rata-rata error sebesar 0,98% dibandingkan Three Phase Power Meter dan Multimeter SANWA, sedangkan sensor DS18B20 memiliki rata-rata error sebesar 0,55% dibandingkan thermocouple type-K. Fitur kendali ON/OFF jarak jauh melalui ThingsBoard mampu mengaktifkan dan menonaktifkan motor melalui relay yang terhubung ke kontaktor. Sistem proteksi juga bekerja sesuai set point, yaitu undervoltage di bawah 198 V, overvoltage di atas 231 V, dan overheat di atas 55°C. Dengan demikian, sistem mampu melakukan pengawasan, pengendalian, dan proteksi motor listrik tiga fasa secara real-time.

**Kata kunci:** *Monitoring*, Kendali *ON/OFF*, *Internet of things*, dan *Perumdam Tirta Taman Kota Bontang*.

## I. PENDAHULUAN

Pengoperasian motor listrik di Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Taman Kota Bontang seringkali menghadapi sejumlah tantangan yang menghambat efisiensi dan produktivitas. Permasalahan utama adalah proses pengoperasian motor listrik masih sangat manual. Operator harus keluar masuk ruang kendali secara berkala untuk menghidupkan atau mematikan mesin, kegiatan ini tidak hanya menyita waktu dan tenaga, namun juga dapat menimbulkan resiko kecelakaan kerja, apalagi jika lingkungan kerja tidak sesuai atau terdapat kecelakaan kerja dengan potensi bahaya listrik.

Selain itu, memantau kondisi mesin secara real time juga menjadi tantangan tersendiri. Tanpa sistem pemantauan yang tepat, sulit mengetahui kondisi mesin secara akurat dan mendeteksi tanda-tanda kerusakan sejak dini. Akibatnya, mesin

dapat bekerja melebihi kapasitasnya atau mengalami kerusakan yang tidak terdeteksi sejak dini, sehingga dapat mengakibatkan waktu henti yang tidak terduga dan kerugian finansial.

Pada Penelitian yang dilakukan oleh Wendhi Yuniarto, Irman, Suparno, Rusman, Muhammad Diponegoro, Edi. dengan judul “*Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of things (IoT)*” Dimana pemantauan dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengambilan data [1]. Sistem pemantauan energi berbasis *Internet of things* (IoT) hadir sebagai jawaban atas tantangan tersebut. Memanfaatkan teknologi IoT, sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi mesin secara *real-time*, kontrol mesin otomatis, dan pengumpulan data yang lebih akurat dan andal.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Daya Listrik

Daya listrik dapat didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam bentuk rangkaian listrik. Pada jaringan listrik AC (Alternating Current) dengan bentuk gelombang sinusoidal dikenal beberapa jenis bentuk daya, diantaranya adalah, daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) [2]. Berdasarkan konsep usaha, yang dimaksud dengan daya listrik adalah besarnya usaha dalam memindahkan muatan per-satuan waktu atau lebih singkatnya adalah jumlah energi listrik yang digunakan per-detik [3]. Berdasarkan definisi tersebut, perumusan daya listrik adalah:

$$P=E/t \quad (1)$$

Dimana:

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| P | = Daya Listrik (W)          |
| E | = Energi dalam satuan Joule |
| T | = Waktu dalam satuan detik  |

Daya Semu (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan RMS (*Root Mean Square*) dan arus RMS dalam suatu jaringan listrik atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri dari daya aktif (*active power*) dan daya reaktif (*reactive power*).



Persamaan untuk 1 fasa.

$$S = V_p \times I_p \text{ (VA)} \quad (2)$$

Persamaan untuk 3 fasa.

$$S = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \text{ (VA)} \quad (3)$$

Dimana:

|                |                                       |
|----------------|---------------------------------------|
| S              | = Daya Semu (VA)                      |
| V <sub>p</sub> | = Tegangan <i>Line-to-Neutral</i> (V) |
| I <sub>p</sub> | = Arus <i>Line-to-Neutral</i> (A)     |
| V <sub>L</sub> | = Tegangan <i>Line-to-Line</i> (V)    |
| I <sub>L</sub> | = Arus <i>Line-to-Line</i> (A)        |

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya. Daya aktif juga merupakan jenis daya dalam sistem listrik yang melakukan pekerjaan nyata atau yang menghasilkan energi yang digunakan untuk melakukan pekerjaan mekanis, termal, atau listrik. Adapun persamaan dalam daya aktif sebagai berikut:

Untuk satu fasa:

$$P = V_p \times I_p \times \cos \phi \text{ (W)} \quad (4)$$

Untuk tiga fasa:

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \phi \text{ (W)} \quad (5)$$

Dimana:

|                |                                       |
|----------------|---------------------------------------|
| P              | = Daya Aktif (W)                      |
| V <sub>p</sub> | = Tegangan <i>Line-to-Neutral</i> (V) |
| I <sub>p</sub> | = Arus <i>Line-to-Neutral</i> (A)     |
| V <sub>L</sub> | = Tegangan <i>Line-to-Line</i> (V)    |
| I <sub>L</sub> | = Arus <i>Line-to-Line</i> (A)        |
| φ              | = Sudut Fasa                          |

Daya Reaktif adalah daya yang disebabkan karena beda fase antara arus dan tegangan. Definisi umum lainnya dari daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet akan terbentuk fluks medan magnet.

Persamaan daya Reaktif pada sistem tegangan satu fasa, adalah:

$$Q = V_p \times I_p \times \sin \phi \text{ (VAR)} \quad (6)$$

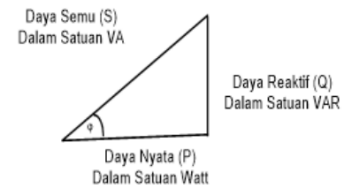
Untuk daya Reaktif pada sistem tegangan 3 fasa, adalah:

$$Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \phi \text{ (VAR)} \quad (7)$$

Dimana:

|                |                                       |
|----------------|---------------------------------------|
| Q              | = Daya Reaktif (VAR)                  |
| V <sub>p</sub> | = Tegangan <i>Line-to-Neutral</i> (V) |
| I <sub>p</sub> | = Arus <i>Line-to-Neutral</i> (A)     |
| V <sub>L</sub> | = Tegangan <i>Line-to-Line</i> (V)    |
| I <sub>L</sub> | = Arus <i>Line-to-Line</i> (A)        |
| φ              | = Sudut Fasa                          |

Segitiga Daya adalah suatu hubungan antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif, yang dapat digambarkan dalam bentuk vektor segitiga. Segitiga Daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda antara daya semu (*Apparent Power*), daya aktif (*Active Power*), dan daya reaktif (*Reactive Power*) berdasarkan prinsip trigonometri pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Segitiga daya

Hubungan ketiga daya tersebut dapat dijelaskan melalui persamaan:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (VA)} \quad (8)$$

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \text{ (W)} \quad (9)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \text{ (VAR)} \quad (10)$$

Dimana:

|   |                      |
|---|----------------------|
| S | = Daya Semu (VA)     |
| P | = Daya Aktif (W)     |
| Q | = Daya Reaktif (VAR) |

Faktor daya ( $\cos \phi$ ) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya semu (VA) yang digunakan dalam listrik arus bolak balik (AC) atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam  $\cos \phi$ .

$$\text{Faktor Daya} = (P)/S = (V \cdot I \cdot \cos \phi)/(V \cdot I) = \cos \phi \quad (11)$$

Dimana:

|   |                  |
|---|------------------|
| P | = Daya Aktif (W) |
| S | = Daya Semu (VA) |
| V | = Tegangan (V)   |
| I | = Arus (A)       |
| φ | = Sudut Fasa     |

### B. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh Espressif System merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi *Internet of things* [4]. pada [Gambar 2](#) merupakan bentuk fisik dari ESP32.



Gambar 2. Mikrokontroler ESP32[1]

### C. PZEM 004T

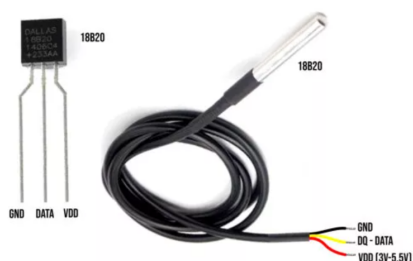
Sensor PZEM-004T dapat digunakan untuk mengukur arus, tegangan, daya, dan energi dari listrik AC. Ini memiliki kemampuan untuk mengeluarkan output melalui komunikasi serial, sehingga dapat dihubungkan dengan perangkat seperti Arduino. Modulnya dilengkapi dengan kumparan trafo arus berdiameter 3 milimeter yang dapat digunakan untuk mengukur arus maksimal 100A [5]. [Gambar 3](#) menunjukkan sensor PZEM-004T.



Gambar 3. Sensor PZEM 004T[5]

#### D. Sensor DS18B20

Sensor suhu DS18B20 digunakan untuk melacak suhu kondisi mesin atau peralatan yang dapat berubah-ubah. DS18B20 memiliki tiga pin kaki, yang mencakup *ground*, *Vs*, dan data *input/output*. Tegangan sensor DS18B20 berkisar antara 3V dan 5,5V, tetapi *Vs* sendiri memberikan tegangan 5V kepada mikrokontroler karena kaki tanah dihubungkan ke tanah pada rangkaian [6]. Bentuk fisik sensor DS18B20 seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Sensor DS18B20[6]

#### E. Liquid Cristal Display (LCD)

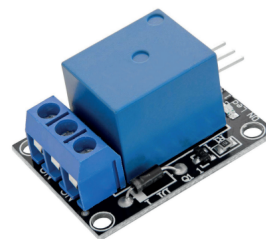
Modul *Liquid Crystal Display* (LCD) adalah monitor yang dibuat dari material kristal cair dan dioperasikan dengan sistem dot matrix. Ada dua jenis utama LCD, LCD teks yang menampilkan tulisan dan LCD yang menampilkan gambar. Modul LCD masing-masing memiliki kemampuan untuk menampilkan teks, simbol, dan karakter dengan kualitas tinggi [7]. Dapat dilihat pada Gambar 5 adalah bentuk fisik LCD I2C



Gambar 5. LCD I2C[7]

#### F. Modul Relay 5V

Relay berfungsi sebagai saklar untuk mengatur *ON/OFF* berbagai peralatan elektronik. Setelah nilai *output* sensor yang digunakan dihitung, mikrokontroler akan memberikan instruksi kepada *relay* agar untuk melakukan perintah *ON/OFF*. *Relay* adalah saklar elektronik yang bekerja dengan arus listrik. Pada dasarnya, *relay* adalah tuas saklar yang terikat pada *solenoid* (batang besi) di dekatnya [8]. Bentuk fisiknya terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Modul relay 5V[8]

#### G. AC DC Converter

HLK-PM01 adalah modul catu daya kecil yang dapat memasok 5V DC/0,6A dari 120VAC atau 230VAC. HLK-PM01 digunakan untuk membantu proyek kecil yang membutuhkan pasokan 5 Volt dari listrik dan membuat simpel tanpa menggunakan adaptor eksternal [9]. Gambar 7 menunjukkan bentuk dari HLK-PM01.



Gambar 7. Hi-Link HLK-PM01[9]

#### H. ThingsBoard

ThingsBoard merupakan sebuah *platform Internet of things* (IoT) yang bersifat *open source*. ThingsBoard merupakan *web server* yang dapat digunakan sebagai *platform* manajemen *device*, pengumpulan data, dan visualisasi data berbasis *website*. Data yang sudah dibaca oleh sensor kemudian dikirimkan ke *web server* ThingsBoard [10].

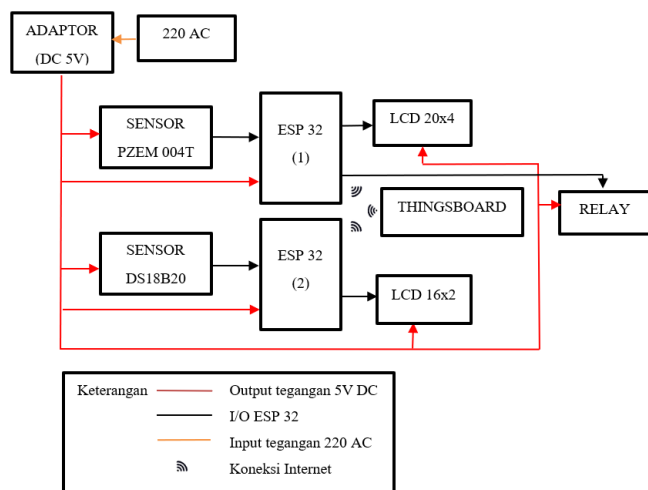


Gambar 8. ThingsBoard[10]

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Gambaran Umum Sistem

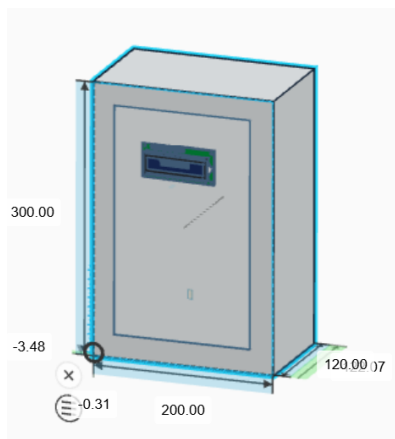
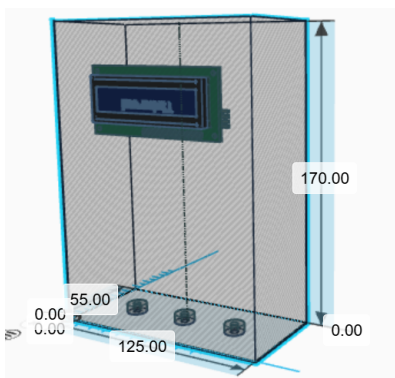
Sistem yang diusulkan dalam penelitian ini adalah sebuah representasi dari bagaimana sistem monitoring 3 fasa dan kendali *on/off* motor listrik akan beroperasi dan terhubung dengan infrastruktur IoT di Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Taman Kota Bontang. Sistem ini dirancang untuk memantau kinerja motor listrik 3 fasa dan mengendalikannya dari jarak jauh dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) [Gambar 9] akan menunjukkan Gambaran umum dari Sistem Monitoring dan Kendali.



Gambar 9. Gambaran umum sistem

### B. Desain Alat

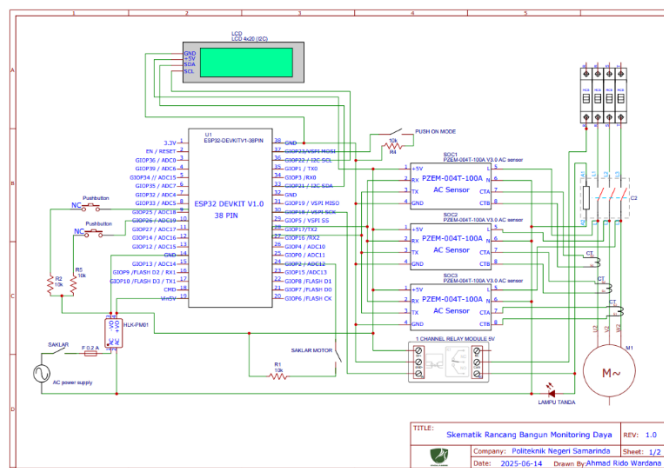
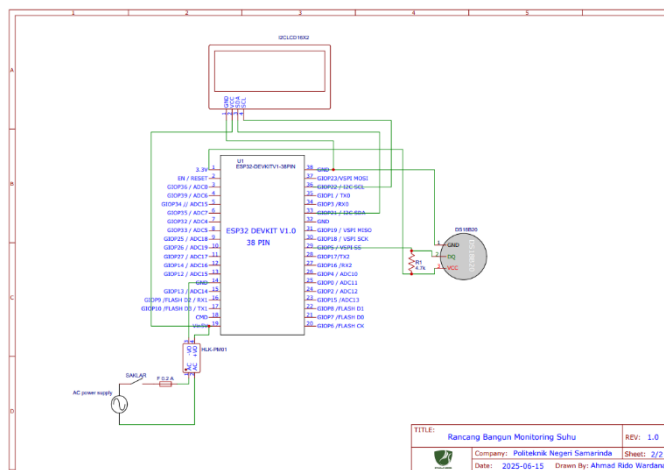
Desain alat dibuat menggunakan *website tinkercad* yang ditunjukkan pada [Gambar 10](#). Desain panel *monitoring* daya dan [Gambar 11](#) adalah desain box untuk *monitoring* suhu dengan satuan milimeter (mm).

Gambar 10. Desain panel *monitoring* dayaGambar 11. Box *monitoring* suhu

### C. Perancangan Sistem

Pada proses perancangan sistem ini dibuat dengan tujuan agar mempermudah pada saat ingin merangkai alat secara langsung pada komponen. Berikut skematik untuk untuk

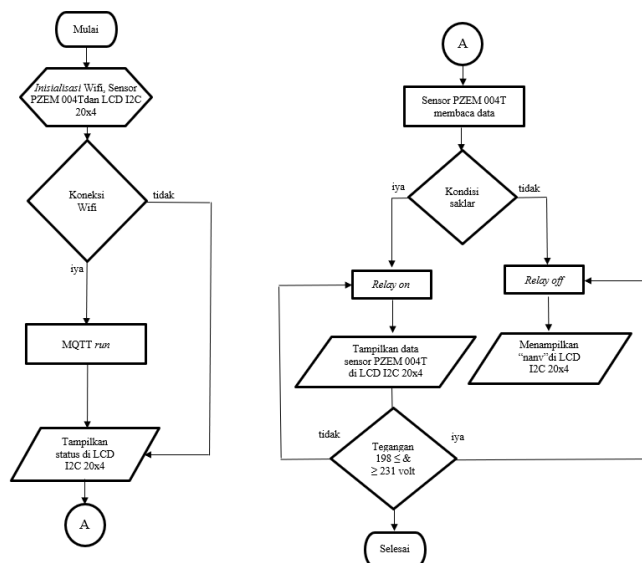
*monitoring* daya dan *monitoring* suhu ditunjukkan pada [gambar 12](#) dan [Gambar 13](#).

Gambar 12. Skematik Sistem *monitoring* dayaGambar 13. Skematik sistem *monitoring* suhu

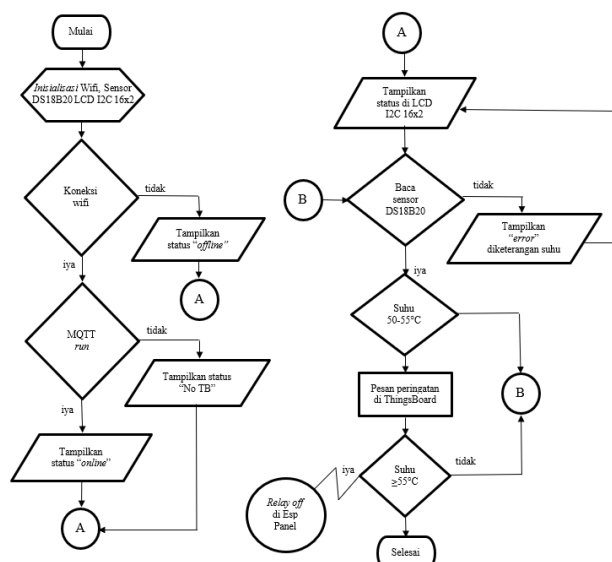
### D. Diagram Alir Pembacaan Sensor

Diagram ini menggambarkan proses bagaimana program membaca data dari sensor-sensor yang digunakan. Pada diagram ini akan menjelaskan 2 program alir pembacaan sensor dikarenakan pada lokasi penelitian jarak antara panel dan motor tidak cukup dekat sehingga masing-masing sensor menggunakan Esp32 yang berbeda dapat dilihat pada [Gambar 14](#) dan 15.

Pada [Gambar 14](#) sistem monitoring daya dimulai dengan inisialisasi ESP32 dan komunikasi dengan sensor PZEM-004T. ESP32 kemudian membaca parameter diantaranya tegangan, arus, daya, faktor daya, frekuensi, dan energi, serta menampilkannya pada LCD 20x4. Secara bersamaan, data dikirim ke Thingsboard melalui koneksi WiFi menggunakan protokol MQTT. Sistem juga membandingkan hasil nilai tegangan dengan setpoint overvoltage dan undervoltage sebagai proteksi dan memutuskan kontaktor melalui modul relay dan mengirimkan notifikasi ke ThingsBoard.



Gambar 14. Flowchart sistem monitoring daya Esp32 Panel



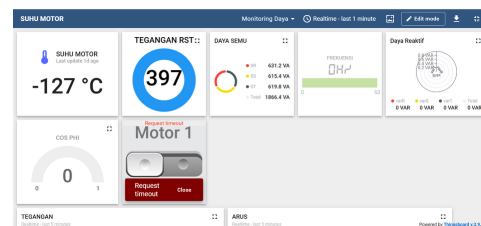
Gambar 15. Flowchart sistem monitoring suhu Esp32 Box

Pada [Gambar 15](#) menunjukkan alur kerja sistem monitoring suhu menggunakan ESP32. Pertama yaitu melakukan inisialisasi sensor DS18B20 dan modul ESP-NOW. Suhu motor dibaca secara periodik dan dibandingkan dengan dua setpoint, yaitu batas peringatan dan batas darurat. Jika suhu melewati batas peringatan, sistem mengirim notifikasi ke ThingsBoard. Apabila suhu mencapai batas darurat, ESP32 Box mengirim data ke ESP32 Panel melalui ESP-NOW untuk memutuskan relay sebagai proteksi *overheat*. Mekanisme ini memungkinkan sistem proteksi bekerja secara cepat tanpa bergantung pada koneksi internet.

#### E. Perencanaan ThingsBoard

Saat menggunakan ThingsBoard, ThingsBoard meminta untuk mendaftarkan akun pada *platform* ThingsBoard, baik melalui layanan *cloud* maupun server lokal. Pengguna dapat menambahkan berbagai *widget* seperti grafik, *gauge*, atau

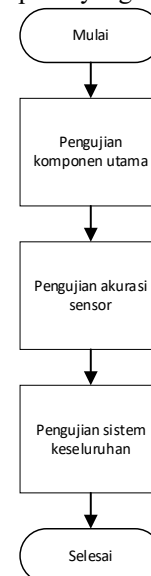
indikator lain sesuai kebutuhan *monitoring*, sehingga data yang diperoleh dapat dipantau dengan mudah dan interaktif. Untuk tampilan *dashboard* pada ThingsBoard dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Dashboard ThingsBoard

#### F. Metode Pengujian

Metode pengujian dilakukan melalui beberapa tahapan, dimulai dari pengujian komponen utama, pengujian akurasi sensor, hingga pengujian sistem secara keseluruhan. Pengujian komponen utama dilakukan untuk memastikan LCD, relay, sensor PZEM-004T, sensor DS18B20, ESP32, dan koneksi ThingsBoard dapat bekerja sesuai fungsinya. Selanjutnya, pengujian akurasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur pembanding. Setelah seluruh komponen dan sensor bekerja dengan baik, dilakukan pengujian sistem keseluruhan pada motor listrik tiga fasa untuk memastikan fungsi pengawasan, kendali ON/OFF, dan proteksi dapat berjalan sesuai set point yang telah ditentukan.



Gambar 17. Flowchart metode pengujian sistem

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengujian LCD I2C 20x4 dan 16x2

Dalam penelitian ini, LCD 20x4 diuji dalam sistem pemantauan menggunakan ESP32 dan menggunakan *library* bawaan dari LCD I2C. LCD digunakan sebagai antarmuka pengguna untuk menampilkan beberapa parameter 1 fasa, 3 fasa dan status koneksi. Sedangkan LCD 16x2 digunakan untuk memantau suhu motor secara langsung. ESP32 diprogram untuk mengirim data ke LCD dan memastikan tampilan teks



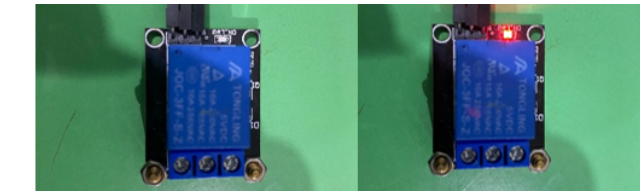
yang jelas, cerah, dan kontras. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan keakuratan tampilan data dan *update* sinkronisasi dengan kondisi alat *monitoring* daya dan [Gambar 18](#) menunjukkan pengujian LCD I2C.



Gambar 18. Pengujian LCD I2C

B. Pengujian Modul Relay 5V

Penelitian ini menguji modul *relay* 5V pada sistem monitoring dengan ESP32. Modul *relay* 5V ini digunakan untuk menghidupkan atau mematikan motor melalui kontaktor, *relay* 5V ini juga dapat difungsikan melalui internet dan manual menggunakan tombol. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan *relay* berfungsi dengan baik, dengan posisi led mati menandakan motor *off* dan begitupun sebaliknya seperti ditunjukkan pada [Gambar 19](#).



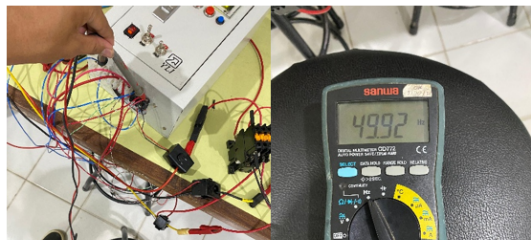
Gambar 19. Pengujian modul relay 5V

C. Pengujian Sensor PZEM 004T

Hasil pengujian sensor dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *Three Phase Power Meter* kecuali untuk frekuensi perbandingannya menggunakan Multimeter SANWA ditunjukkan pada [Gambar 20](#). Sensor PZEM 004T diuji pada *output* motor 3 fasa dan hasil pengujian ditunjukkan pada [Gambar 21](#), dan [Tabel 1](#) menunjukkan hasil pengujian sensor dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *Three Phase Power Meter* dan Multimeter SANWA.



Gambar 20. Pengujian Sensor PZEM 004T menggunakan *three phase power meter*.



Gambar 21. Pengujian frekuensi motor listrik menggunakan multimeter SANWA.

TABEL 1

| Data Perbandingan Motor Listrik 3 Fasa |            |      |        |                         |            |      |       |                        |           |
|----------------------------------------|------------|------|--------|-------------------------|------------|------|-------|------------------------|-----------|
| Sensor PZEM 004T                       |            |      |        | Three Phase Power Meter |            |      |       | Presentase Nilai Error |           |
| Satuan                                 | Jenis Fasa | Fasa | Nilai  | Satuan                  | Jenis Fasa | Fasa | Nilai | Selisih                | Error (%) |
| (V)                                    | L-N        | R    | 203,8  | (V)                     | L-N        | R    | 205   | 1,2                    | 0,59      |
|                                        |            | S    | 196,6  |                         |            | S    | 197   | 0,4                    | 0,20      |
|                                        |            | T    | 201,1  |                         |            | T    | 202   | 0,9                    | 0,45      |
|                                        | Σ Tegangan |      | 345,75 |                         | Σ Tegangan |      | 347   | 1,25                   | 0,36      |
|                                        |            |      |        |                         |            |      |       |                        |           |
| (A)                                    | L-N        | R    | 1,28   | (A)                     | L-N        | R    | 1,29  | 0,01                   | 0,78      |
|                                        |            | S    | 1,31   |                         |            | S    | 1,29  | 0,02                   | 1,55      |
|                                        |            | T    | 1,35   |                         |            | T    | 1,34  | 0,01                   | 0,75      |
|                                        | Σ Arus     |      | 1,3    |                         | Σ Arus     |      | 1,3   | 0                      | 0         |
| (VA)                                   | L-N        | R    | 261,68 | (VA)                    | L-N        | R    | 263   | 1,32                   | 0,50      |
|                                        |            | S    | 257,55 |                         |            | S    | 254   | 3,55                   | 1,40      |
|                                        |            | T    | 271,49 |                         |            | T    | 270   | 1,49                   | 0,55      |
|                                        | Σ VA       |      | 779,17 |                         | Σ VA       |      | 779   | 0,17                   | 0,02      |
| (W)                                    | L-N        | R    | 20,93  | (W)                     | L-N        | R    | 23,3  | 2,37                   | 10,17     |
|                                        |            | S    | 30,91  |                         |            | S    | 30,6  | 0,31                   | 1,01      |
|                                        |            | T    | 35,29  |                         |            | T    | 36,3  | 1,01                   | 2,78      |
|                                        | Σ Watt     |      | 83,29  |                         | Σ Watt     |      | 85,9  | 2,61                   | 3,04      |
| (VAR)                                  | L-N        | R    | 260,84 | (VAR)                   | L-N        | R    | 262   | 1,16                   | 0,44      |
|                                        |            | S    | 255,68 |                         |            | S    | 252   | 3,68                   | 1,46      |
|                                        |            | T    | 269,18 |                         |            | T    | 267   | 2,18                   | 0,82      |
|                                        | Σ VAR      |      | 774,54 |                         | Σ VAR      |      | 774   | 0,54                   | 0,07      |
| Pf                                     | L-N        | R    | 0,08   | Pf                      | L-N        | R    | 0,08  | 0                      | 0         |
|                                        |            | S    | 0,12   |                         |            | S    | 0,12  | 0                      | 0         |
|                                        |            | T    | 0,13   |                         |            | T    | 0,13  | 0                      | 0         |
|                                        | Σ Pf       |      | 0,11   |                         | Σ Pf       |      | 0,11  | 0                      | 0         |
|                                        |            |      |        | Multimeter SANWA        |            |      |       |                        |           |
| (Hz)                                   | L-N        | R    | 50     | (Hz)                    | L-N        | R    | 49,93 | 0,07                   | 0,14      |
|                                        |            | S    | 50     |                         |            | S    | 49,94 | 0,06                   | 0,12      |
|                                        |            | T    | 50     |                         |            | T    | 49,92 | 0,08                   | 0,16      |
|                                        | Σ Hz       |      | 50     |                         | Σ Hz       |      | 49,93 | 0,07                   | 0,14      |
| Rata-rata error (%)                    |            |      |        |                         |            |      |       |                        | 0,98      |

D. Pengujian Sensor DS18B20

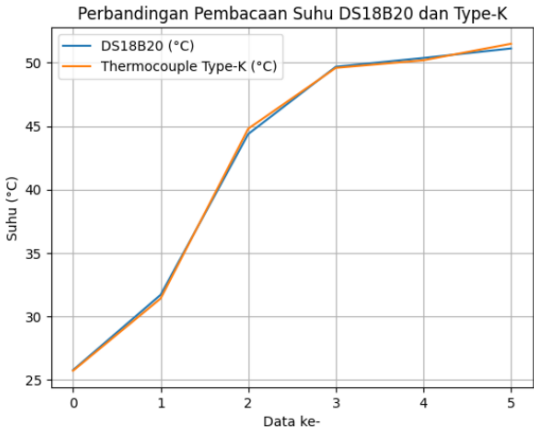
Penelitian ini menggunakan sensor ds18b20 yang terintegrasi dengan ESP32. Sensor ini mengukur suhu pada *housing* motor listrik 3 fasa, namun dalam proses kalibrasi menggunakan solder sebagai media yang diukur dan dibandingkan dengan sensor suhu *thermocouple type-k* pada Multimeter FLUKE. [Gambar 22](#) menampilkan hasil pembacaan sensor ds18b20 dibandingkan dengan sensor *type-k* pada Multimeter FLUKE. Hasil data pengujian ini juga tercantum dalam [Tabel 2](#).



Gambar 22. Perbandingan suhu antara sensor ds18b20 dengan *thermocouple type-k*

TABEL 2  
DATA PERBANDINGAN ANTARA SENSOR DS18B20 DENGAN  
THERMOCOUPLE TYPE-K

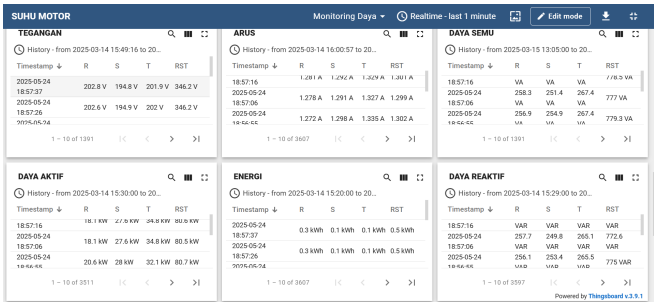
| Sensor          |             | Selisih | Error (%) |
|-----------------|-------------|---------|-----------|
| DS18B20 (°C)    | Type-k (°C) |         |           |
| 25,75           | 25,7        | 0,05    | 0,19      |
| 31,69           | 31,4        | 0,29    | 0,92      |
| 44,38           | 44,8        | 0,42    | 0,94      |
| 49,69           | 49,6        | 0,09    | 0,18      |
| 50,38           | 50,2        | 0,18    | 0,36      |
| 51,13           | 51,5        | 0,37    | 0,72      |
| rata rata error |             |         | 0.55      |



Gambar 23 Grafik perbandingan sensor suhu dan type-K

E. Pengujian ThingsBoard

Pengujian ThingsBoard adalah pengujian yang memastikan bahwa semua data dapat terkirim dari mikrokontroler ke ThingsBoard. Pengujian ini dilakukan dengan mengirim data dari Esp32 Panel dan Esp32 Box dengan koneksi WiFi. [Gambar 24](#) yang memastikan bahwa semua data terbaca dan dapat terkirim ke ThingsBoard.



Gambar 24. Pengujian dan pengiriman data ke ThingsBoard

F. Pengujian Espnow Untuk Proteksi Suhu (*overheat*)

Pengujian espnw merupakan pengujian yang memastikan bahwa kondisi suhu yang telah diatur (*setpoint*) pada Esp32 Box dapat mengirim data ke Esp32 Panel. Ketika suhu *emergency* (*setpoint*) sudah di tentukan maka *relay* pada Esp32 Panel akan bekerja. Namun, Sebelum terjadi trip dikarenakan *overheat*, pemberitahuan dalam bentuk pesan di thingsboard akan lebih dulu memberikan peringatan apabila suhu mendekati ambang batas atau *setpoint* yang ditentukan. [Gambar 25](#) menunjukkan bahwa data berhasil dikirim antar Esp32 ketika terjadi *overheat* dan [Gambar 26](#) menunjukkan tampilan pesan peringatan di ThingsBoard dan menunjukkan tampilan ketika terjadi *overheat*.



Gambar 25. Esp32 Box mengirim data ketika terjadi *overheat*.

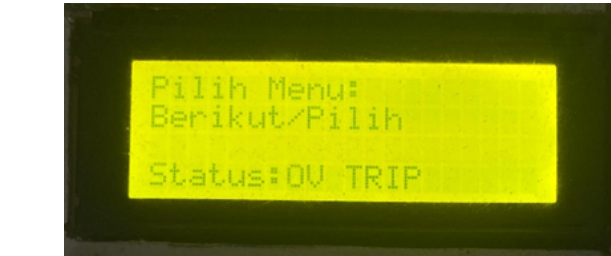
| Timestamp ↓         | message                                          | emergency_status |
|---------------------|--------------------------------------------------|------------------|
| 2025-06-30 12:24:31 | Suhu mencapai 55C, hampir melewati ambang batas! |                  |
| 2025-06-30 12:23:16 | Suhu mencapai 55C, hampir melewati ambang batas! |                  |
| 2025-06-30 12:23:15 | Suhu mencapai 55C, hampir melewati ambang batas! |                  |
| 2025-06-30 12:22:50 | Suhu mencapai 55C, hampir melewati ambang batas! |                  |
| 2025-06-30 12:22:48 | Suhu mencapai 55C, hampir melewati ambang batas! |                  |
| 2025-06-30 12:22:47 | Suhu mencapai 55C, hampir melewati ambang batas! |                  |
| 2025-06-30 12:22:46 | Suhu mencapai 55C, hampir melewati ambang batas! |                  |
| 2025-06-30 00:56:37 | Suhu mencapai 55C, hampir melewati ambang batas! |                  |
| 2025-06-30 00:56:36 | Suhu mencapai 55C, hampir melewati ambang batas! |                  |
| 2025-06-30 00:56:35 | Suhu mencapai 55C, hampir melewati ambang batas! |                  |
| 2025-06-30 00:41:08 | Suhu mencapai 55C, hampir melewati ambang batas! |                  |

Gambar 26. Tampilan pesan ketika mendekati *overheat* di ThingsBoard.

G. Pengujian Proteksi Tegangan Berlebih (*overvoltage*) dan Jatuh Tegangan (*undervoltage*)

Pada pengujian proteksi tegangan ini menjelaskan bahwa alat *monitoring* juga memiliki proteksi tegangan AC untuk mengamankan motor dari lonjakan tegangan dan jatuh tegangan, berdasarkan SPLN No.1:1978 *undervoltage* yaitu  $\pm 10\%$  dari 220 Volt yaitu 198 Volt, sedangkan untuk *overvoltage*  $\pm 5$  dari 220 Volt yaitu 231 Volt, maka dari itu

dibuat *setpoint* untuk proteksi tegangan yaitu 198 Volt dan 231 Volt. ketika sensor PZEM 004T mendeteksi *under/overvoltage* disalah satu sensor PZEM 004T maka *relay* akan mati atau dalam kondisi aman. Namun, *Relay* dapat dihidupkan kembali ketika di *reswitch*. [Gambar 27](#) menunjukkan tampilan pemberitahuan ketika terjadi *under/overvoltage* dan [Gambar 28](#) menunjukkan tampilan *under/overvoltage* di ThingsBoard.



Gambar 27. Tampilan pemberitahuan *overvoltage*

Timeseries table

History - last 30 days

| Timestamp           | overvoltage_fase1 ↓ | overvoltage_fase2 | overvoltage_fase3 |
|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| 2025-06-20 16:52:28 | true                | false             | false             |
| 2025-06-20 16:52:29 | true                | false             | false             |
| 2025-06-20 16:52:30 | true                | false             | false             |

Items per page: 10 1 - 10 of 200

Gambar 28. Tampilan *under/overvoltage* di ThingBoard.

H. Hasil dan Analisis Pengujian

Pengujian ini dilakukan di Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Taman Kota Bontang. Pengujian ini memantau parameter tegangan, arus, daya, faktor daya, energi dan suhu secara langsung. Untuk pengukuran fasa-netral diukur langsung oleh sensor PZEM 004T sedangkan untuk pengukuran 3 fasanya adalah perhitungan yang di masukkan didalam program. Data akan langsung dapat dilihat atau dipantau menggunakan ThingsBoard, data sensor dapat ditampilkan secara visual melalui grafik dan indikator. [Gambar 29](#) menampilkan gambar pada saat pengambil data di PERUMDAM dan Beban yang digunakan adalah Motor listrik 3 fasa dengan spesifikasi yang di tunjukkan oleh [Tabel 3](#).



Gambar 29. Pengambilan data di PERUMDAM

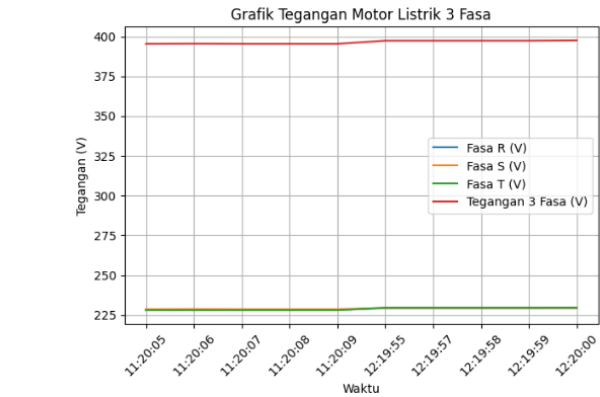
TABEL 3  
SPESIFIKASI MOTOR LISTRIK

| Spesifikasi     | Nilai     |
|-----------------|-----------|
| Merek           | TECO      |
| HP              | 2 HP      |
| Daya            | 1,5 Kw    |
| Tegangan        | 220V/380V |
| Arus            | 5,9A/3,8A |
| Frekuensi       | 50 Hz     |
| Putaran         | 1400 RPM  |
| Fasa            | 3 Fasa    |
| Kelas Isolasi   | F         |
| Suhu Lingkungan | 40°C      |
| Rating          | IP 55     |

Dalam proses penelitian ini, dilakukan pengukuran sejumlah parameter kelistrikan secara *real-time* dan dikirim ke ThingsBoard untuk mendapatkan informasi yang akurat mengenai kondisi sistem pada waktu tertentu. Parameter yang dipantau meliputi tegangan, arus, daya aktif, daya semu, daya rekatif, energi, frekuensi, faktor daya dan suhu. Serta waktu pengambilan data yang terdiri dari tanggal dan jam. Seluruh hasil pengukuran diambil dari data yang terkirim ke ThingsBoard dan dibuat dalam bentuk tabel. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 02 Juni 2025 mulai dari pukul 11.20 hingga pukul 12.19 pada kondisi *ON*. [Tabel 4](#) hingga menunjukkan hasil pengukuran parameter tegangan.

TABEL 4  
DATA TEGANGAN MOTOR LISTRIK 3 FASA PADA PUKUL 11.20 DAN 12.19

| No | Waktu    | R (V) | S (V) | T (V) | 3~ (V) |
|----|----------|-------|-------|-------|--------|
| 1  | 11:20:05 | 228,3 | 228,6 | 228,0 | 395,4  |
| 2  | 11:20:06 | 228,3 | 228,7 | 228,0 | 395,5  |
| 3  | 11:20:07 | 228,3 | 228,6 | 228,0 | 395,4  |
| 4  | 11:20:08 | 228,2 | 228,6 | 228,0 | 395,4  |
| 5  | 11:20:09 | 228,2 | 228,6 | 228,0 | 395,4  |
| 6  | 12:19:55 | 229,3 | 229,4 | 229,6 | 397,4  |
| 7  | 12:19:57 | 229,4 | 229,4 | 229,6 | 397,4  |
| 8  | 12:19:58 | 229,3 | 229,4 | 229,6 | 397,4  |
| 9  | 12:19:59 | 229,4 | 229,4 | 229,6 | 397,4  |
| 10 | 12:20:00 | 229,4 | 229,5 | 229,7 | 397,6  |



Gambar 30. Grafik tegangan motor listrik 3 fasa 11:20 – 12:20



[Tabel 3](#) menunjukkan bahwa tegangan motor listrik 3 fasa pada kedua waktu pengukuran berada dalam rentang yang stabil dan sesuai standar.

Setelah data dari parameter tegangan, Selanjutnya yaitu data dari parameter arus yang diukur dan ditunjukkan pada [Tabel 5](#).

TABEL 5  
DATA ARUS MOTOR LISTRIK 3 FASA PADA PUKUL 11.20 DAN 12.19

| No | Waktu    | R (A) | S (A) | T (A) | 3~ (A) |
|----|----------|-------|-------|-------|--------|
| 1  | 11:20:05 | 2,693 | 2,647 | 2,709 | 2,683  |
| 2  | 11:20:06 | 2,694 | 2,647 | 2,710 | 2,684  |
| 3  | 11:20:07 | 2,693 | 2,647 | 2,711 | 2,684  |
| 4  | 11:20:08 | 2,694 | 2,647 | 2,709 | 2,683  |
| 5  | 11:20:09 | 2,694 | 2,645 | 2,709 | 2,683  |
| 6  | 12:19:55 | 2,746 | 2,671 | 2,740 | 2,719  |
| 7  | 12:19:57 | 2,748 | 2,672 | 2,741 | 2,720  |
| 8  | 12:19:58 | 2,747 | 2,673 | 2,741 | 2,720  |
| 9  | 12:19:59 | 2,750 | 2,672 | 2,742 | 2,721  |
| 10 | 12:20:00 | 2,751 | 2,676 | 2,744 | 2,724  |

Berdasarkan data pada [Tabel 5](#), arus listrik yang mengalir pada masing-masing fasa motor 3 fasa menunjukkan kestabilan dan keseimbangan antara fasa R, S, dan T, baik pada pengukuran pukul 11.20 maupun 12.19. Nilai arus pada pukul 11.20 berada di kisaran 2,64–2,72 A, sedangkan pada pukul 12.19 mengalami sedikit kenaikan menjadi sekitar 2,67–2,75 A. Meskipun terjadi kenaikan arus pada pengukuran kedua, nilai tersebut masih dalam batas aman dan sesuai dengan spesifikasi motor yang tertera pada *nameplate*.

Selanjutnya ada parameter daya semu yang dikirim ke ThingsBoard lalu dibuat dalam bentuk tabel dan parameter daya semu di tunjukkan pada [Tabel 6](#).

TABEL 6  
DATA DAYA SEMU MOTOR LISTRIK 3 FASA PADA PUKUL 11.20 DAN 12.19

| No | Waktu    | R (VA) | S (VA) | T (VA) | 3~ (VA) |
|----|----------|--------|--------|--------|---------|
| 1  | 11:20:05 | 614,8  | 605,1  | 617,7  | 1837,6  |
| 2  | 11:20:06 | 615,0  | 605,4  | 617,9  | 1838,3  |
| 3  | 11:20:07 | 614,8  | 605,1  | 618,1  | 1838,0  |
| 4  | 11:20:08 | 614,8  | 605,1  | 617,7  | 1837,5  |
| 5  | 11:20:09 | 614,8  | 604,6  | 617,7  | 1837,1  |
| 6  | 12:19:55 | 629,7  | 612,7  | 629,1  | 1871,5  |
| 7  | 12:19:57 | 630,4  | 613,0  | 629,3  | 1872,7  |
| 8  | 12:19:58 | 629,9  | 613,2  | 629,3  | 1872,4  |
| 9  | 12:19:59 | 630,9  | 613,0  | 629,6  | 1873,4  |
| 10 | 12:20:00 | 631,1  | 614,1  | 630,3  | 1875,5  |

Berdasarkan [Tabel 6](#), daya semu (VA) motor listrik 3 fasa pada pukul 11.20 dan 12.19 mengalami sedikit peningkatan, sejalan dengan kenaikan arus dan tegangan yang telah dianalisis sebelumnya. Nilai daya semu pada masing-masing fasa dan total (RST) tetap stabil dan seimbang antar fasa, mencerminkan distribusi beban yang baik.

Untuk mengetahui besarnya daya aktif yang digunakan oleh motor listrik 3 fasa pada waktu tertentu, hasil pengukuran dapat dilihat pada [Tabel 7](#). Tabel ini menyajikan data daya aktif masing-masing fasa, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai penggunaan daya aktif secara aktual motor selama periode pengujian.

TABEL 7  
DATA DAYA AKTIF MOTOR LISTRIK 3 FASA PADA PUKUL 11.20 DAN 12.19

| No | Waktu    | R (W) | S (W) | T (W) | 3~ (W) |
|----|----------|-------|-------|-------|--------|
| 1  | 11:20:05 | 184,4 | 181,5 | 191,5 | 557,4  |
| 2  | 11:20:06 | 184,5 | 181,6 | 197,7 | 563,8  |
| 3  | 11:20:07 | 184,4 | 187,6 | 197,8 | 569,8  |
| 4  | 11:20:08 | 184,4 | 187,6 | 197,6 | 569,7  |
| 5  | 11:20:09 | 184,4 | 187,4 | 197,6 | 569,5  |
| 6  | 12:19:55 | 176,3 | 177,7 | 195,0 | 549,0  |
| 7  | 12:19:57 | 176,5 | 177,8 | 195,1 | 549,4  |
| 8  | 12:19:58 | 176,4 | 177,8 | 195,1 | 549,3  |
| 9  | 12:19:59 | 176,6 | 177,8 | 195,2 | 549,6  |
| 10 | 12:20:00 | 176,7 | 178,1 | 189,1 | 543,9  |

Berdasarkan data arus, tegangan, dan faktor daya pada [Tabel 8](#), dapat dianalisis bahwa daya aktif motor listrik 3 fasa pada pukul 11.20 dan 12.19 dipengaruhi oleh kombinasi ketiga parameter tersebut. Daya aktif (P) dihitung dari hasil perkalian arus (I), tegangan (V), dan faktor daya ( $\cos \phi$ ). Pada pukul 11.20, arus dan tegangan cenderung sedikit lebih tinggi dibandingkan pukul 12.19, sementara faktor daya pada kedua waktu relatif rendah dan bahkan sedikit menurun pada pukul 12.19 (sekitar 0,30 menjadi 0,29). Faktor daya yang rendah ini menyebabkan daya aktif yang dihasilkan juga tidak maksimal, meskipun arus dan tegangan cukup stabil. Penurunan faktor daya pada pukul 12.19 turut berkontribusi terhadap penurunan daya aktif yang tercatat pada waktu tersebut dan Tabel faktor daya ditunjukkan pada [Tabel 8](#).

TABEL 8  
DATA POWER FAKTOR MOTOR LISTRIK 3 FASA PADA PUKUL 11.20 DAN 12.19

| No | Waktu    | R    | S    | T    | 3~   |
|----|----------|------|------|------|------|
| 1  | 11:20:05 | 0,30 | 0,30 | 0,31 | 0,30 |
| 2  | 11:20:06 | 0,30 | 0,30 | 0,32 | 0,31 |
| 3  | 11:20:07 | 0,30 | 0,31 | 0,32 | 0,31 |
| 4  | 11:20:08 | 0,30 | 0,31 | 0,32 | 0,31 |
| 5  | 11:20:09 | 0,30 | 0,31 | 0,32 | 0,31 |
| 6  | 12:19:55 | 0,28 | 0,29 | 0,31 | 0,29 |
| 7  | 12:19:57 | 0,28 | 0,29 | 0,31 | 0,29 |
| 8  | 12:19:58 | 0,28 | 0,29 | 0,31 | 0,29 |
| 9  | 12:19:59 | 0,28 | 0,29 | 0,31 | 0,29 |
| 10 | 12:20:00 | 0,28 | 0,29 | 0,30 | 0,29 |

Faktor daya motor berada pada nilai yang cukup rendah (di bawah 0,85) yang mengindikasikan efisiensi daya yang kurang optimal. Meskipun nilai antar fasa cukup seimbang dan stabil, rendahnya faktor daya ini mengakibatkan daya aktif yang



dapat dimanfaatkan menjadi lebih kecil dibandingkan daya semunya.

Untuk mengetahui besarnya daya reaktif yang terjadi pada motor listrik 3 fasa, dilakukan pengukuran pada pukul 11.20 dan 12.19. Data hasil pengukuran daya reaktif per fasa dan total (RST) ditampilkan pada [Tabel 9](#) berikut ini.

TABEL 9  
DATA DAYA REAKTIF MOTOR LISTRIK 3 FASA PADA PUKUL 11.20 DAN 12.19

| No | Waktu    | R<br>(VAR) | S<br>(VAR) | T<br>(VAR) | 3~<br>(VAR) |
|----|----------|------------|------------|------------|-------------|
| 1  | 11:20:05 | 586,5      | 577,2      | 587,2      | 1751,0      |
| 2  | 11:20:06 | 586,7      | 577,5      | 585,4      | 1749,6      |
| 3  | 11:20:07 | 586,5      | 575,3      | 585,6      | 1747,4      |
| 4  | 11:20:08 | 586,5      | 575,3      | 585,2      | 1746,9      |
| 5  | 11:20:09 | 586,5      | 574,9      | 585,2      | 1746,5      |
| 6  | 12:19:55 | 604,5      | 586,4      | 598,1      | 1789,0      |
| 7  | 12:19:57 | 605,2      | 586,6      | 598,3      | 1790,1      |
| 8  | 12:19:58 | 604,7      | 586,8      | 598,3      | 1789,9      |
| 9  | 12:19:59 | 605,6      | 586,6      | 598,5      | 1790,8      |
| 10 | 12:20:00 | 605,8      | 587,8      | 601,3      | 1794,9      |

Berdasarkan [Tabel 9](#), daya reaktif motor listrik 3 fasa menunjukkan peningkatan dari waktu pertama ke waktu kedua. Pada pukul 11.20, total daya reaktif (RST) berkisar antara 1746,5 VAR hingga 1752,1 VAR, dengan distribusi yang cukup merata antar fasa yakni sekitar 575-588 VAR per fasa. Kemudian pada pukul 12.19, terjadi kenaikan total daya reaktif menjadi 1789,0 VAR hingga 1796,5 VAR, dengan nilai per fasa berkisar 586-606 VAR.

Pengukuran frekuensi pada motor listrik 3 fasa dilakukan untuk mengetahui kestabilan sistem. Data hasil pengukuran frekuensi per fasa dan total (RST) pada pukul 11.20 dan 12.19 ditampilkan pada [Tabel 10](#) berikut ini.

TABEL 10  
DATA FREKUENSI MOTOR LISTRIK 3 FASA PADA PUKUL 11.20 DAN 12.19

| No | Waktu    | R<br>(Hz) | S<br>(Hz) | T<br>(Hz) | 3~<br>(Hz) |
|----|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1  | 11:20:05 | 50,00     | 49,90     | 50,00     | 50,00      |
| 2  | 11:20:06 | 50,00     | 50,00     | 50,00     | 50,00      |
| 3  | 11:20:07 | 50,00     | 50,00     | 50,00     | 50,00      |
| 4  | 11:20:08 | 50,00     | 50,00     | 50,00     | 50,00      |
| 5  | 11:20:09 | 50,00     | 50,00     | 49,90     | 50,00      |
| 6  | 12:19:55 | 49,90     | 49,90     | 49,90     | 49,90      |
| 7  | 12:19:57 | 49,90     | 49,90     | 49,90     | 49,90      |
| 8  | 12:19:58 | 49,90     | 49,90     | 49,90     | 49,90      |
| 9  | 12:19:59 | 49,90     | 49,90     | 49,90     | 49,90      |
| 10 | 12:20:00 | 49,90     | 49,90     | 49,90     | 49,90      |

Berdasarkan data pada [Tabel 10](#), terjadi sedikit penurunan frekuensi antara dua waktu pengukuran. Pada pukul 11.20, frekuensi stabil di angka 50,00 Hz untuk semua fasa dengan beberapa variasi kecil di fasa S dan T yang sempat mencapai 49,90 Hz. Kemudian pada pukul 12.19, frekuensi mengalami penurunan konsisten menjadi 49,90 Hz di semua fasa.

Pengukuran energi pada motor listrik 3 fasa dilakukan untuk mengetahui penggunaan energi sistem. Data hasil pengukuran energi per fasa dan total (RST) pada pukul 11.20 dan 12.19 ditampilkan pada [Tabel 11](#) berikut ini.

TABEL 11  
DATA ENERGI MOTOR LISTRIK 3 FASA PADA PUKUL 11.20 DAN 12.19

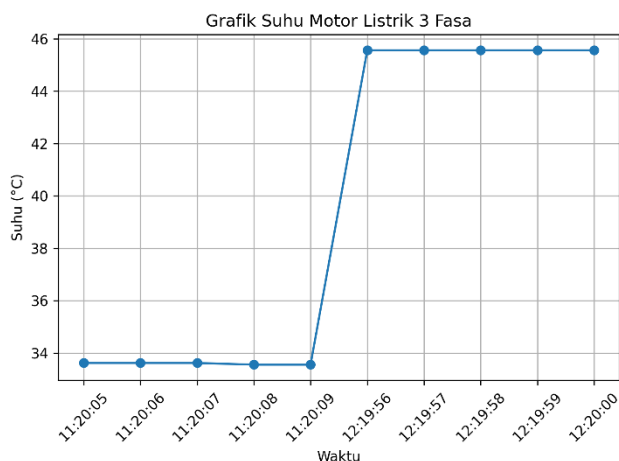
| No | Waktu    | R<br>(kWh) | S<br>(kWh) | T<br>(kWh) | 3~<br>(kWh) |
|----|----------|------------|------------|------------|-------------|
| 1  | 11:20:05 | 0          | 0          | 0          | 0           |
| 2  | 11:20:06 | 0          | 0          | 0          | 0           |
| 3  | 11:20:07 | 0          | 0          | 0          | 0           |
| 4  | 11:20:08 | 0          | 0          | 0          | 0           |
| 5  | 11:20:09 | 0          | 0          | 0          | 0           |
| 6  | 12:19:55 | 0,2        | 0,2        | 0,2        | 0,6         |
| 7  | 12:19:57 | 0,2        | 0,2        | 0,2        | 0,6         |
| 8  | 12:19:58 | 0,2        | 0,2        | 0,2        | 0,6         |
| 9  | 12:19:59 | 0,2        | 0,2        | 0,2        | 0,6         |
| 10 | 12:20:00 | 0,2        | 0,2        | 0,2        | 0,6         |

Berdasarkan data pada [Tabel 7](#), daya aktif motor listrik 3 fasa selama periode pengukuran berada pada kisaran 544–571 watt untuk total tiga fasa (RST). Dengan waktu pengamatan selama satu jam, energi listrik yang secara teori diperoleh dari daya aktif ini adalah sekitar 0,54–0,57 kWh. Sementara itu, pada [Tabel 4.17](#), energi listrik yang tercatat pada alat ukur selama periode yang sama adalah sebesar 0,6 kWh.

Pengukuran suhu pada motor listrik 3 fasa sangat penting untuk memantau kondisi operasional motor serta mencegah terjadinya *overheating* yang dapat mengganggu kinerja dan mempercepat kerusakan komponen. [Tabel 12](#) berikut menyajikan data suhu motor pada dua waktu pengukuran, yaitu pukul 11.20 dan 12.19.

TABEL 12  
DATA SUHU MOTOR LISTRIK 3 FASA PADA PUKUL 11.20 DAN 12.19

| No | Waktu    | Suhu<br>(°C) |
|----|----------|--------------|
| 1  | 11:20:05 | 33,625       |
| 2  | 11:20:06 | 33,625       |
| 3  | 11:20:07 | 33,625       |
| 4  | 11:20:08 | 33,56        |
| 5  | 11:20:09 | 33,56        |
| 6  | 12:19:56 | 45,56        |
| 7  | 12:19:57 | 45,56        |
| 8  | 12:19:58 | 45,56        |
| 9  | 12:19:59 | 45,56        |
| 10 | 12:20:00 | 45,56        |



Gambar 31. Grafik suhu motor listrik 3 fasa

Berdasarkan data pada tabel, terdapat peningkatan suhu yang cukup signifikan dari pukul 11.20 ke 12.19. Pada pukul 11.20, suhu motor berada di kisaran 33,5°C hingga 33,625°C, sedangkan pada pukul 12.19 suhu meningkat menjadi sekitar 45,5°C hingga 45,56°C. Kenaikan suhu sekitar 12°C ini menunjukkan adanya peningkatan beban kerja motor atau penurunan efisiensi pendinginan. Jika suhu terus meningkat tanpa penanganan, dapat menyebabkan kerusakan pada isolasi motor dan menurunkan umur pakai motor.

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan motor listrik 3 fasa dengan kontrol *ON/OFF* berbasis IoT ini berhasil memenuhi tujuan penelitian. Beberapa temuan utama meliputi.

1. Fungsi kendali jarak jauh melalui platform ThingsBoard mampu mengaktifkan dan menonaktifkan motor listrik melalui relay yang terhubung ke kontaktor sesuai perintah *ON/OFF* yang diberikan. Perubahan status motor juga dapat dipantau secara real-time melalui dashboard ThingsBoard, sehingga operator dapat melakukan pengendalian dan pemantauan tanpa harus berada langsung di ruang kendali;
2. Sistem mampu dalam melakukan pengukuran parameter operasional motor secara *real-time* meliputi tegangan, arus, daya, dan suhu dengan tingkat akurasi tinggi (*error* < 1%). Konsistensi hasil pengujian dengan alat referensi *Three Phase Power Meter* dan *thermocouple type-k* mengonfirmasi keandalan sistem sebagai alat diagnostik operasional;
3. Sistem ini tidak hanya berperan sebagai pemantau, tetapi juga memiliki untuk mendeteksi tindakan protektif otomatis terhadap kondisi abnormal seperti jatuh tegangan (<198) dan lonjakan tegangan (>231V) atau suhu berlebihan (>55°C). Respons cepat ini secara signifikan mengurangi potensi kerusakan motor, memperpanjang *lifespan*

peralatan, dan mengoptimalkan biaya pemeliharaan jangka panjang.

### B. Saran

Selama pengerjaan skripsi ini tentunya tidak lepas dari berbagai kekurangan dan kelemahan, adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan pada penelitian mengenai rancang bangun sistem monitoring motor listrik 3 fasa untuk mengoptimalkan kinerja motor listrik adalah:

1. Uji sistem terhadap beban disarankan dilakukan dengan memastikan bahwa beban yang diukur berada dalam rentang kapasitas sensor. Sistem monitoring ini dirancang untuk memantau daya hingga 23 kW, sehingga penggunaannya lebih sesuai untuk aplikasi dengan beban maksimal 23 kW. Untuk kebutuhan industri dengan beban di atas 23 kW, diperlukan penyesuaian atau penggunaan alat dengan spesifikasi sensor yang lebih tinggi.
2. Perlu dilakukan uji coba dalam jangka waktu yang lebih lama untuk memastikan kestabilan pembacaan data serta daya tahan komponen terhadap panas, getaran, dan gangguan listrik

## REFERENSI

- [1] W. Yuniarto, I. Suparno, Rusman, M. Diponegoro dan Edi, "Rancang bangun sistem monitoring dan kontrol energi listrik pada beban 3 fasa menggunakan ESP32 berbasis internet of things (IoT)," *Jurnal Poli-Teknologi*, vol. 22, no. 1, 2024.
- [2] E. Yadie, M. A. Putra, dan M. Z. Aqmal, "Multifunction meter 3 fase menggunakan sensor PZEM-004t berbasis Nodemcu Esp8266," *PoliGrid*, vol. 6, no. 1, Jun. 2025.
- [3] M. B. R. Huda dan W. D. Kurniawan, "Analisa sistem pengendalian temperatur menggunakan sensor DS18B20 berbasis mikrokontroler Arduino," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 07, no. 02, Jul. 2025, doi: <https://doi.org/10.26740/jrm.v7i02.47897>
- [4] Y. E. Windarto, B. M. W. Samosir, dan M. R. Assariy, "Monitoring ruangan berbasis internet of things menggunakan ThingsBoard dan Blynk," *.wjit .walisongo .j .of .inf .Technology*, vol. 2, no. 2, hlm. 145, Des 2020, doi: 10.21580/wjit.2020.2.2.5798.
- [5] Rusdiansyah, C. Sarri, dan Toyib, "Analisis perbaikan faktor daya untuk efisiensi pembebanan pada RSUD I.A. Moeis Samarinda," *Mutiara: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, vol. 1, no. 1, pp. 130-133, Jul. 2023.
- [6] A. Syafi'i, A. H. Kurniawan, dan Rusda, "Rancang bangun alat penyiram tanaman otomatis berbasis ESP32 Desa Purwajaya," *PoliGrid*, vol. 5, no. 2, Dec. 2024.
- [7] M. I. Ibrahim, R. A. Wijaya, R. A. Susilo, dan P. Murdiyat, "Rancang bangun rele diferensial berbasis Arduino," *PoliGrid*, vol. 5, no. 1, Jun. 2024.
- [8] M. D. Abdillah, M. A. Putra, dan Rusda, "Rancang bangun miniature solar tracking system pada penerangan jalan bertenaga surya berbasis Arduino," *PoliGrid*, vol. 5, no. 2, Dec. 2024.
- [9] B. A. Wijaya, A. Ihsandi, O. Nainggolan, dan P. Murdiyat, "Rancang bangun rele arus lebih tipe inverse time dengan time multiplier setting 0,05 detik berbasis Arduino," *PoliGrid*, vol. 5, no. 1, Jun. 2024.
- [10] R. Wicaksono, R. J. K. Haryo, A. R. D. Santoso, E. D. Wibowo, dan P. R. Hanafi, "Perancangan time synchronization sebagai alat bantu pengujian intertrip relay distance," *jeetech*, vol. 5, no. 2, pp. 151-163, Oct. 2024, doi: 10.32492/jeetech.v5i2.5206.

# Analisis Kestabilan Peralihan Akibat Pelepasan Beban pada Sistem Tenaga Listrik PT. KPC Sangatta Menggunakan Metode *Static Under Frequency Load Shedding*

Iyang Mukti Ali<sup>1</sup>, Ipniansyah<sup>2</sup>, Khairuddin Karim<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda  
 ipnian@yahoo.co.id

**Abstrak-** Dalam sistem tenaga listrik, pemadaman listrik terjadi ketika frekuensi menurun dan tegangan berfluktuasi sebagai efek dari sisi pembangkitan dan sisi beban yang tidak seimbang. Untuk menstabilkan permintaan daya dan suplai, metodologi yang cukup baik dalam keadaan darurat adalah dengan *static under frequency load shedding*. Analisa ini dilakukan pada sistem tenaga listrik PT. KPC Sangatta, di mana gangguan lepasnya generator terjadi akibat *short circuit line to ground* pada node generator. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 Pada skenario 1 setelah dilakukan pelepasan generator steam no. 3 frekuensi turun menjadi 27,8 Hz, sedangkan pada skenario 2 dimana unit generator steam no. 4 lepas frekuensi turun menjadi 17,45 Hz. Akibat lepasnya generator yang mengakibatkan penurunan frekuensi dilakukanlah *load shedding*, di mana berdasarkan perhitungan metode *static UFLS* didapat mekanisme pelepasan beban yang handal di mana frekuensi sempat turun pada nilai 48,1 Hz dengan jumlah beban yang dilepas sebesar 9,334 MW, sebaliknya untuk mekanisme pelepasan beban dengan data *setting stage 1* tidak dapat melakukan pemulihan frekuensi dengan handal dimana frekuensi turun dinilai 46,3 Hz dan jumlah beban yang dilepas sebesar 17,2 MW, sedangkan dengan mekanisme pelepasan beban menggunakan data *setting stage 2* mampu mengembalikan frekuensi ke nilai yang diizinkan dimana jumlah beban yang dilepaskan sebesar 9,334 MW dan nilai terendah frekuensi mencapai 47,5 Hz.

**Kata kunci:** *Load shedding*, Frekuensi, *Static Under Frequency Load Shedding*.

atau mesin jatuh dari sinkronisasi dan tidak lagi bekerja pada kecepatan sinkron, menyebabkan berkurangnya masa pakai komponen sistem, dan dalam kasus terburuk dapat menyebabkan sistem padam total. Kondisi tersebut tidak hanya mempengaruhi frekuensi tetapi juga tegangan.

Berdasarkan paper IEEE *Transactions on Power Systems* berjudul *Definition and Classification of Power System Stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dikategorikan menjadi tiga, yaitu kestabilan frekuensi, sudut rotor, dan tegangan. Definisi ini berlaku juga untuk sistem yang beroperasi dengan menginterkoneksi beberapa generator (*multimachine*)[1].

Gangguan *transient* sangat mempengaruhi stabilitas dari suatu sistem tenaga listrik pada industri-industri besar sehingga perlu dianalisis lebih lanjut. Setelah dilakukan perubahan pada sistem tenaga listrik, PT. KPC Sangatta belum melakukan studi *transient* yang lebih mendalam. Sehingga dibutuhkan studi stabilitas *transient* untuk mengetahui kestabilan sistem saat terjadi gangguan *transient*. Berdasarkan paper referensi *Definition and Classification of Power System Stability*, maka pada penelitian ini dilakukan analisis yang meliputi kestabilan frekuensi, sudut rotor, dan tegangan. Sedangkan perubahan yang akan terjadi pada sistem meliputi generator lepas, motor starting, dan hubung singkat. Pada penelitian ini juga akan dianalisis mekanisme pelepasan beban untuk mengatasi gangguan *transient* yang terjadi.

## I. PENDAHULUAN

Kestabilan suatu sistem didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem untuk kembali ke keadaan tunaknya ketika sistem terjadi gangguan. Secara umum, kestabilan sistem tenaga listrik dikategorikan ke dalam kestabilan *steady state*, peralihan dan dinamis. Dibandingkan dengan *steady state*, kestabilan peralihan harus lebih diperhatikan karena pengaruhnya yang sangat besar pada sistem tenaga.

Studi kestabilan peralihan diperlukan untuk memastikan bahwa sistem dapat bertahan dalam kondisi peralihan setelah terjadinya gangguan besar seperti aplikasi beban secara tiba-tiba atau perubahan beban secara tiba-tiba, kehilangan pembangkitan, dan gangguan pada sistem. Terjadinya gangguan dapat menyebabkan ketidakstabilan dalam sistem

## II. LANDASAN TEORI

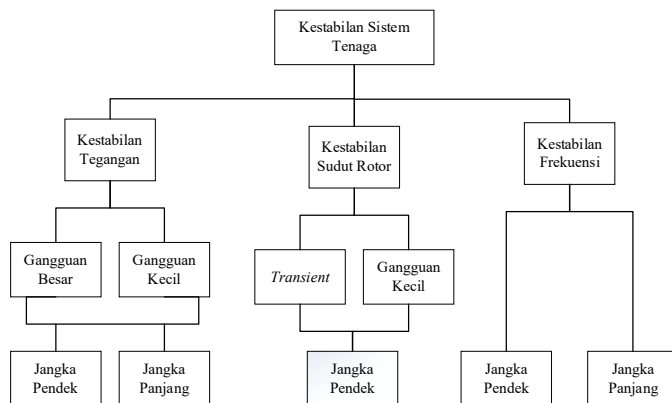
### A. Kestabilan Sistem Tenaga

Kestabilan sistem tenaga listrik secara umum dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan keadaan sinkronnya pada saat dan sesudah terjadi gangguan. Definisi ini berlaku juga untuk sistem yang beroperasi dengan menginterkoneksi beberapa generator (*multimachine*). Karakteristik utama dalam stabilitas ini adalah bagaimana mesin-mesin mempertahankan sinkronisasi pada saat akhir periode peralihan. Jika respon sistem mengalami osilasi saat terjadi gangguan dan kemudian dapat teredam dengan sendirinya, maka sistem dapat dikatakan

stabil. Jika osilasi terjadi secara terus menerus hingga periode yang lama maka sistem dikatakan tidak stabil

### B. Klasifikasi Kestabilan

Terdapat banyak faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan suatu sistem tenaga listrik, maka dibutuhkan suatu pengelompokan sistem tenaga listrik guna mempermudah analisis kestabilan. Berdasarkan *Paper IEEE definition and classification of power system stability*, kestabilan sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga kategori, yaitu[1]:



Gambar 1. Klasifikasi kestabilan sistem tenaga

#### 1) Kestabilan sudut rotor

Kestabilan sudut rotor merupakan kemampuan dari mesin sinkron yang terhubung dengan sistem untuk tetap sinkron setelah terjadi gangguan. Ketidakstabilan akan mengakibatkan naiknya sudut rotor yang berbeda-beda dari generator sehingga dapat mengakibatkan generator hilang sinkronisasi antar generator.

#### 2) Kestabilan frekuensi

Kestabilan frekuensi yaitu kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi yang stabil pada saat operasi normal maupun ketika sistem terjadi ketidakseimbangan antara daya aktif di sisi pembangkit dan beban. Pada umumnya masalah kestabilan frekuensi dikaitkan dengan ketidakmampuan dari respons peralatan, koordinasi yang buruk pada peralatan kontrol dan peralatan proteksi, atau kurangnya daya cadangan pembangkitan

#### 3) Kestabilan tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan yang dapat diterima secara stabil di semua bus dengan besaran operasi sesuai standar dalam kondisi operasi normal dan setelah mengalami gangguan. Tegangan dapat menjadi tidak stabil ketika ada ketidakseimbangan antara permintaan beban dan suplai beban, terutama ketidakseimbangan daya reaktif. Hal ini dapat terjadi karena dua alasan baik karena perubahan permintaan beban yang tiba-tiba, seperti hilangnya beban di suatu daerah, atau karena keterbatasan kapasitas pasokan beban akibat terputusnya saluran transmisi.

### C. Static Under Frequency Load Shedding

Implementasi dari pelepasan beban statis membutuhkan beberapa langkah yang ditentukan. Langkah pertama adalah menentukan kondisi sistem terburuk saat beban berlebih, kemudian menentukan penurunan frekuensi akibat kondisi beban berlebih. Peluruhan frekuensi dapat membantu kita untuk menentukan waktu pelepasan beban dan pendekatan untuk menentukan jumlah beban yang akan dilepaskan.

#### 1) Menentukan overload

Kemungkinan terburuk dapat ditentukan dengan mengetahui *overload* maksimum yang akan terjadi pada sistem. *Overload* biasanya terjadi karena hilangnya generator, kehilangan beban sesaat, perubahan variasi pada beban dan *output* generator. Rumus beban lebih dapat dituliskan sebagai berikut[2]:

$$OL = \frac{-P_{SO}}{P_{GOT} - P_{SOT}} \quad (1)$$

Keterangan:  $P_{SO}$  = Daya yang dibangkitkan oleh unit yang terganggu (MW)

$P_{GOT}$  = Daya terpasang dari unit-unit pembangkit yang beroperasi sebelum gangguan (MW)

$P_{SOT}$  = Daya terpasang dari unit yang mengalami gangguan (MW)

#### 2) Peluruhan frekuensi dan inersia sistem

Inersia sistem (H) adalah energi kinetik dalam sistem yang dibagi dengan energi yang terpasang dalam sistem dan dinyatakan dalam MW-s/MVA atau MJ/MVA. Inersia sistem diperlukan untuk menghitung peluruhan frekuensi yang dijelaskan dengan persamaan berikut[2]:

$$H_{system} = \frac{\sum_{k=1}^N H_k \times MVA_k}{\sum_{k=1}^N MVA_k} \quad (2)$$

Keterangan:  $H_k$  = Inersia dari generator  $k_{th}$

$V A_k$  = Rata-rata daya semu dari generator  $k_{th}$

$N$  = Jumlah generator yang ada

Inersia generator sangat mempengaruhi penurunan nilai frekuensi, karena semakin besar nilai inersia generator, maka sistem semakin kuat sehingga penurunan frekuensi lebih lambat dan lebih kecil. Berdasarkan perhitungan inersia total di atas kita dapat menentukan peluruhan frekuensi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{df}{dt} = \frac{OL \times f}{2 \times H_{system}} \quad (3)$$

Keterangan:  $f$  = Frekuensi nominal (Hz)  
 $OL$  = Overload



$H_{system}$  = Nilai dari sistem inersia

### 3) Waktu awal dan waktu pelepasan beban

Waktu awal adalah waktu di mana frekuensi mencapai batas *underfrequency*, sedangkan waktu pelepasan beban adalah waktu untuk melepaskan beban ketika frekuensi mencapai di bawah batas frekuensi. Berikut ini adalah persamaan untuk mendapatkan nilai waktu awal[2]:

$$T_i = \frac{f_i - f}{\frac{df}{dt}} \quad (4)$$

Keterangan:  $f_i$  = Batas bawah frekuensi yang diperbolehkan (Hz)

$F$  = Frekuensi nominal (Hz)

$\frac{df}{dt}$  = Penurunan frekuensi (Hz/s)

Di mana nilai beban lebih dan peluruhan frekuensi setelah pelepasan beban dapat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$OL_{new} = \frac{-P_{SO} + P_{LS}}{P_{GOT} - P_{SOT}} \quad (5)$$

$$\frac{df}{dt_{new}} = \frac{OL_{new} \times f}{2 \times H_{system}} \quad (6)$$

Keterangan:  $P_{LS}$  = Jumlah beban yang akan dilepaskan berdasarkan pada peluruhan frekuensi yang diharapkan (MW)

$\frac{df}{dt_{new}}$  = Jumlah peluruhan frekuensi yang diharapkan (Hz/s)

### D. Standar Frekuensi

Frekuensi nominal di jaringan yaitu 50,00 Hz. Frekuensi sistem dapat naik sampai dengan 52,00 Hz dan turun sampai dengan 47,00 Hz pada keadaan luar biasa. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut[3].

TABEL 1  
BATAS RENTANG FREKUENSI OPERASI

| Rentang Frekuensi       | Rentang Waktu Operasi                     |
|-------------------------|-------------------------------------------|
| 51,50 Hz < f ≤ 52,00 Hz | Beroperasi selama paling singkat 15 menit |
| 51,00 Hz < f ≤ 51,50 Hz | Beroperasi selama paling singkat 90 menit |
| 49,00 Hz ≤ f ≤ 51,00 Hz | Beroperasi secara terus-menerus           |
| 47,50 Hz < f < 49,00 Hz | Beroperasi selama paling singkat 90 menit |
| 47,00 Hz < f ≤ 47,50 Hz | Beroperasi selama paling singkat 6 detik  |

### E. Standar Tegangan

Standar yang digunakan PT. KPC Sangatta untuk menentukan tegangan nominal dalam kondisi normal adalah sebesar 0,95-1,05 p.u.

Sedangkan standar yang digunakan untuk kedip tegangan adalah IEEE *Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*[4]. Tabel 2 menunjukkan bahwa untuk kedip tegangan (*voltage sag*) terbagi menjadi 3 berdasarkan lamanya gangguan dengan batas nilai sebesar 0.1-0.9 p.u untuk *instantaneous* selama 0,01-0,6 detik, untuk *momentary* selama 3 detik dan untuk *temporary* selama 1 menit.

TABEL 2  
KATEGORI DAN KARAKTERISTIK TIPIKAL SISTEM TENAGA LISTRIK GEJALA ELEKTROMAGNETIK

| Kategori                      | Durasi           | Magnitude tegangan |
|-------------------------------|------------------|--------------------|
| 2.0 Short duration variations |                  |                    |
| 2.1 Instantaneous             |                  |                    |
| 2.1.1 Sag                     | 0.5 - 30 cycles  | 0.1 - 0.9 p.u      |
| 2.1.2 Swell                   | 0.5 - 30 cycles  | 1.1 - 1.8 p.u      |
| 2.2 Momentary                 |                  |                    |
| 2.2.1 Interruption            | 0.5 cycles - 3 s | < 0.1 p.u          |
| 2.2.2 Sag                     | 30 cycles - 3 s  | 0.1 - 0.9 p.u      |
| 2.2.3 Swell                   | 30 cycles - 3 s  | 1.1 - 1.4 p.u      |
| 2.3 Temporary                 |                  |                    |
| 2.3.1 Interruption            | 3 s - 1 min      | < 0.1 p.u          |
| 2.3.2 Sag                     | 3 s - 1 min      | 0.1 - 0.9 p.u      |
| 2.3.3 Swell                   | 3 s - 1 min      | 1.1 - 1.2 p.u      |
| 3.0 Long duration variations  |                  |                    |
| 3.1 Interruption, sustained   | > 1 min          | 0.0 p.u            |
| 3.2 Undervoltages             | > 1 min          | 0.8 - 0.9 p.u      |
| 3.3 Overvoltages              | > 1 min          | 1.1 - 1.2 p.u      |

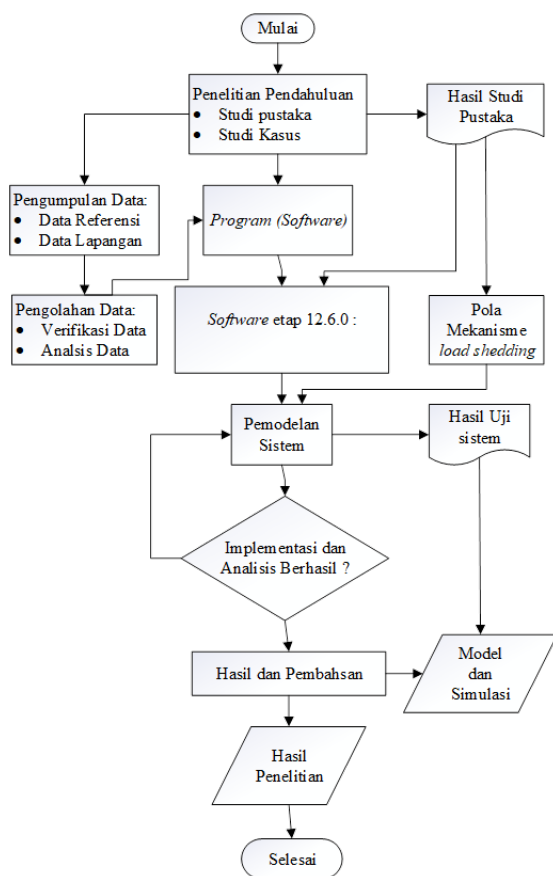
## III. METODE PENELITIAN

### A. Kerangka Operasional Penelitian

Dalam Gambar 2 menunjukan diaram alir kerangka operasional penelitian, ditunjukan bahwa proses penelitian diawali dengan penelitian pendahuluan berupa studi pustaka dan studi kasus, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data referensi dan data lapangan berupa data teknis sistem tenaga listrik PT.KPC Sangatta. Program (*software*) untuk mengerjakan analisis berupa etap 12.6.0 dan hasil studi pustaka berupa pola mekansime *load shedding*.

Penelitian dilanjutkan dengan peroses data, di mana data refrensi dan data lapangan diverifikasi dan dianalisis menggunakan *tools load flow analysis*, sehingga menghasilkan data olahan berupa data aliran daya. Kemudian hasil data olahan tersebut diolah kembali menggunakan *tools transient stability analysis* untuk mengetahui respon sudut rotor, frekuensi, dan tegangan yang dibandingkan terhadap besaran parameter operasi dan kinerja sesuai batas standar yang digunakan untuk kemudian dilakukan *under frequency load shedding*.

Selanjutnya pada tahap akhir merupakan hasil dan pembahasan yang akan memperlihatkan hasil penelitian berupa model dan simulasi terhadap analisis kestabilan peralihan dan kinerja sistem saat tidak menggunakan serta saat menggunakan mekanisme pelepasan beban metode *static under frequency load shedding* sesuai dengan batasan besaran yang digunakan pada sistem tenaga listrik PT.KPC Sangatta.

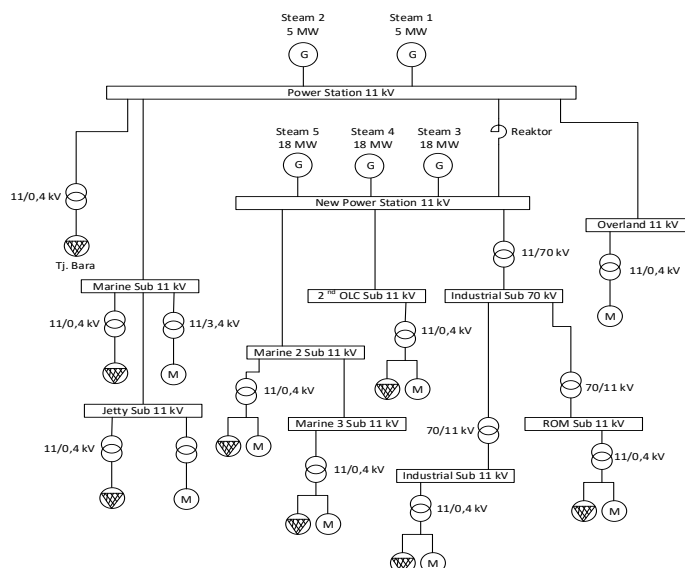


Gambar 2. Kerangka operasional penelitian

### B. Sistem Tenaga Listrik PT. KPC Sangatta

Analisis dan simulasi dilakukan pada sistem tenaga listrik PT. KPC Sangatta, di mana nantinya akan dilakukan simulasi gangguan generator *trip* yang disebabkan oleh adanya *short circuit line to ground* yang terjadi pada node steam pada masing-masing generator. Sehingga apabila terjadi perubahan pada frekuensi dan tegangan yang melebihi batas normal, untuk menjaga sistem tetap aman terutama generator dari adanya *short circuit* diatas maka akan dilakukan pelepasan generator. Setelah dilakukan pelepasan generator maka frekuensi dan tegangan akan turun di mana akibat lepasnya generator maka akan mengakibatkan sistem mengalami *overload*.

Sesuai pada Gambar 3, terdapat 11 bus utama yang digunakan sebagai indikator dalam analisis.



Gambar 3. Single line diagram sederhana PT. KPC Sangatta

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Simulasi Sistem Keadaan Normal

Pada simulasi ini akan dilakukan dua *study case* yang berbeda yaitu *load flow analysis* dan *transient stability analysis* dengan *initial load flow* newton raphson untuk mengetahui parameter sistem pada saat kondisi normal sebelum terjadi gangguan.

Berikut adalah data generator dan beban yang akan digunakan untuk mendapatkan pola mekanisme pelepasan beban metode *static* UFLS yang tertera pada Tabel 3.

TABEL 3  
DATA TOTAL PEMBANGKITAN DAN BEBAN SETELAH RUNNING  
LOAD FLOW DAN TRANSIENT STABILITY

| Generator   | S<br>(MVA) | P gen<br>(MW) | P operation<br>(MW) | H<br>(MW-s/MVA) | Tahap P <sub>LS</sub><br>(MW) |   |     |     |      |
|-------------|------------|---------------|---------------------|-----------------|-------------------------------|---|-----|-----|------|
|             |            |               |                     |                 | 1                             | 2 | 3   | 4   | 5    |
| Steam no. 3 | 22,5       | 18            | 11,625              | 3,489           |                               |   |     |     |      |
| Steam no. 4 | 22,5       | 18            | 11,630              | 3,489           |                               |   |     |     |      |
| Jumlah      |            | 36            |                     |                 | 0                             | 1 | 5,5 | 9,3 | 12,8 |

### B. Simulasi Sistem Keadaan Gangguan

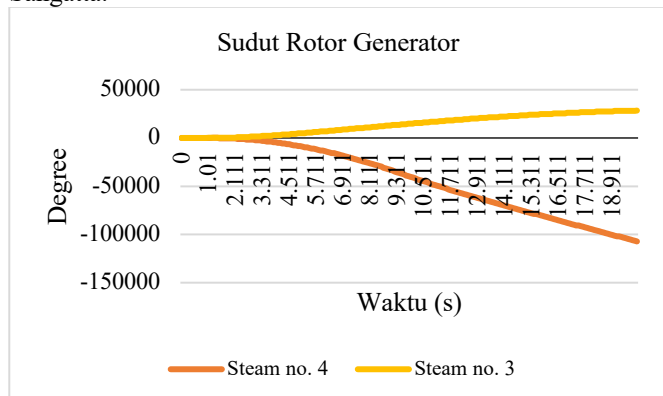
Berdasarkan Tabel 4 simulasi sistem saat gangguan dilakukan dengan memberi gangguan hubung singkat *line to ground* pada node generator steam no.3 dan node steam no.4, langkah selanjutnya adalah melepas generator untuk mengamankan sistem dan mengetahui apakah sistem dapat bertahan dalam kondisi transien atau tidak.

TABEL 4  
SKENARIO PELEPASAN BREAKER PENGAMAN AKIBAT *SHORT CIRCUIT LINE TO GROUND*

| Skenario | Generator lepas | CB open        |
|----------|-----------------|----------------|
| 1        | Steam no.3      | CB steam no. 3 |
| 2        | Steam no.4      | CB steam no. 4 |

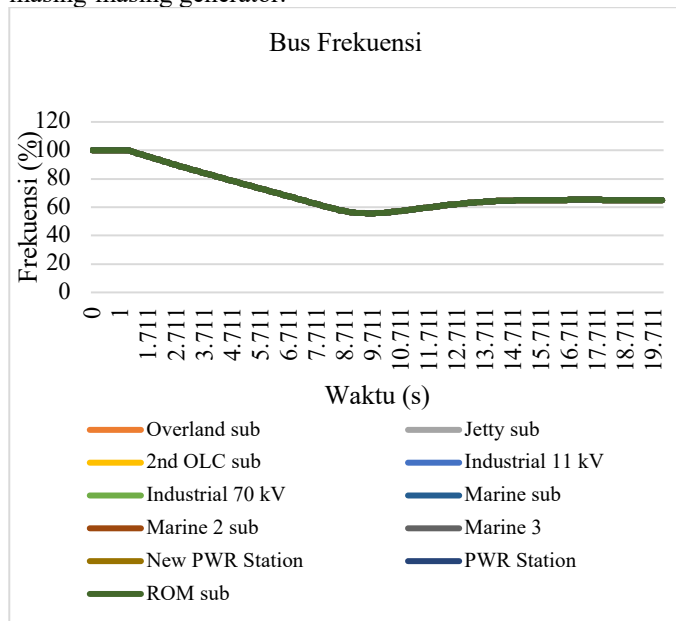
## 1) Skenario 1

Pada skenario 1 ini akan disimulasikan gangguan *short circuit line to ground* yang terjadi pada node steam no. 3 pada detik ke-1 kemudian *circuit breaker* terbuka untuk memproteksi generator dari arus hubung singkat pada detik ke-1,01, dan dilanjutkan dengan melihat respon sudut rotor pada masing-masing generator yang sinkron, respon tegangan, dan frekuensi pada main bus sistem tenaga listrik PT. KPC Sangatta.



Gambar 4. Respon sudut rotor saat generator steam no. 3 trip

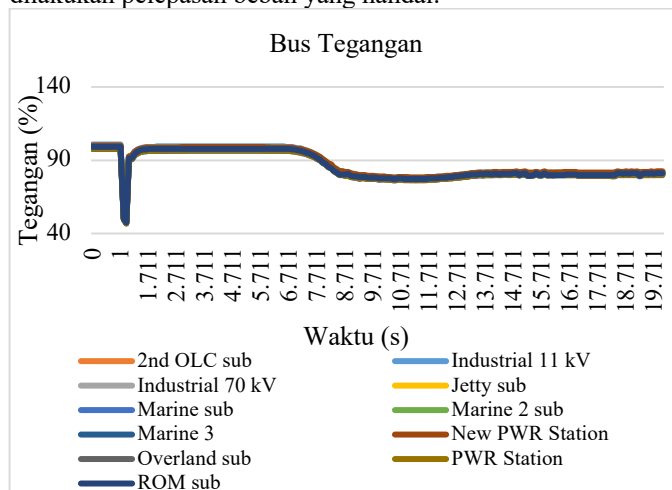
Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat sudut rotor pada masing-masing generator cenderung akan mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu hal ini terjadi akibat *short circuit line to ground* pada node steam no. 3 yang kemudian generator steam no. 3 harus dilepas. Oleh sebab itu pada sudut rotor steam no. 4 terjadi kenaikan derajat yang sangat besar dari pada sudut rotor steam no. 3 sebagai akibat dari memikul beban-beban yang ada pada sistem yang sebelumnya dibagi seimbang dengan masing-masing generator.



Gambar 5. Respon frekuensi saat generator steam no. 3 trip

Berdasarkan Gambar 5 diatas terlihat bahwa penurunan frekuensi akibat lepasnya generator steam no.3 pada detik ke 1,01 namun frekuensi dapat bertahan dalam batas yang

diperkenankan sampai pada detik ke- 1,91 dengan frekuensi sebesar 47,1 Hz, kemudian semakin bertambahnya waktu frekuensi terus mengalami penurunan hingga mencapai titik terendah pada detik ke- 9,71 dengan frekuensi sebesar 27,8 Hz memasuki detik ke-10,11 hingga detik ke-20 frekuensi mulai mencapai steady state pada nilai 32,5 Hz. Dengan demikian dapat dikatakan sistem akan terjadi *blackout* apabila tidak dilakukan pelepasan beban yang handal.

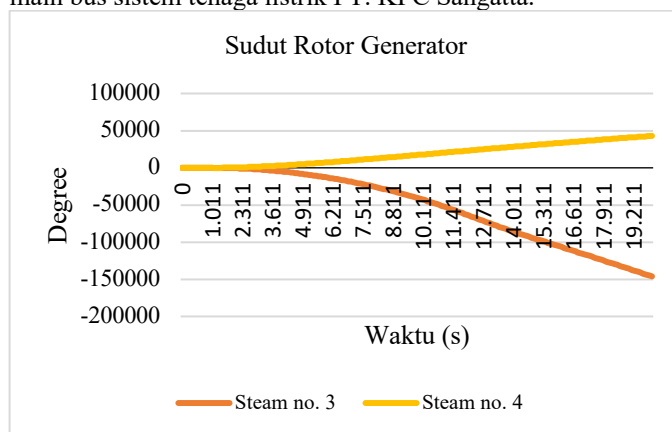


Gambar 6. Respon tegangan saat generator steam no. 3 trip

Berdasarkan Gambar 6 respon tegangan saat generator steam no. 3 trip, di mana pada gambar diatas semua bus utama memiliki kondisi tegangan dibawah nilai yang diizinkan yaitu sebesar 0,95 p.u.

## 2) Skenario 2

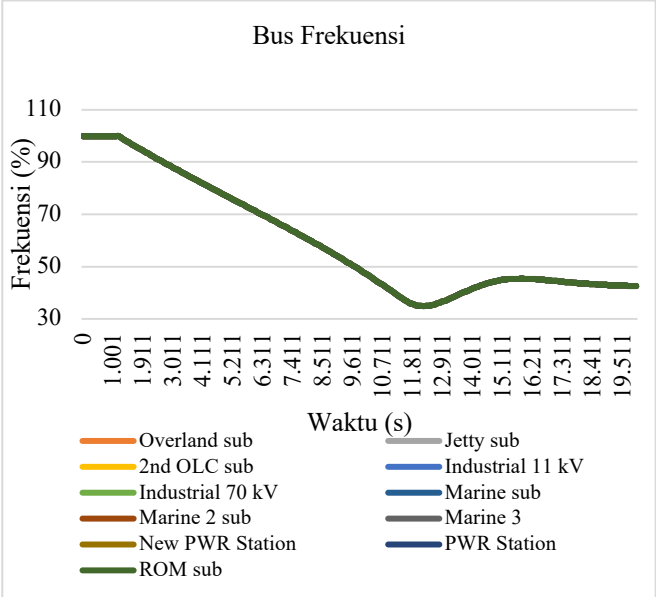
Pada skenario 2 ini akan disimulasikan gangguan *short circuit line to ground* yang terjadi pada node steam no. 4 pada detik ke-1 kemudian *circuit breaker* terbuka untuk memproteksi generator dari arus hubung singkat pada detik ke-1,01, serta akan dilihat respon sudut rotor pada masing-masing generator yang sinkron, respon tegangan, dan frekuensi pada main bus sistem tenaga listrik PT. KPC Sangatta.



Gambar 7. Respon sudut rotor saat generator steam no. 4 trip

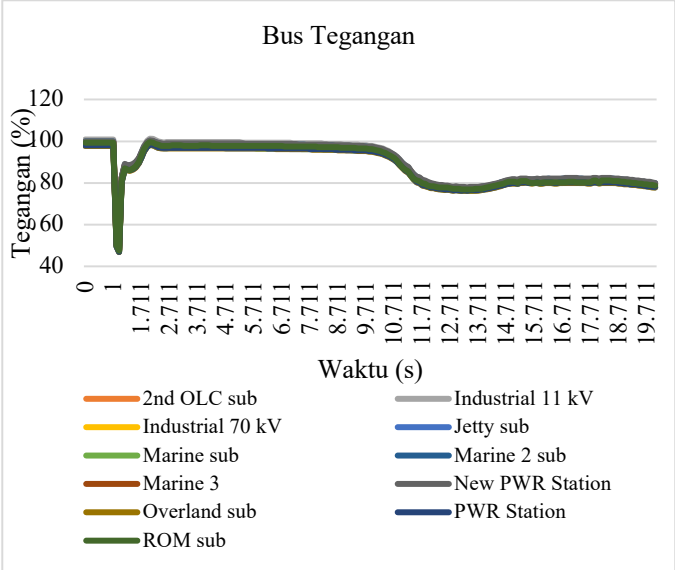
Dari Gambar 7 dapat dilihat sudut rotor pada masing-masing generator cenderung akan mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu hal ini terjadi akibat *short circuit line to ground* pada node steam no. 4 yang kemudian generator steam

no. 4 harus dilepas. Oleh sebab itu pada sudut rotor steam no. 3 terjadi kenaikan derajat yang sangat besar dari pada sudut rotor steam no. 4 sebagai akibat dari memikul beban-beban yang ada pada sistem yang sebelumnya dibagi seimbang dengan masing-masing generator.



Gambar 8. Respon frekuensi saat generator steam no. 4 trip

Berdasarkan Gambar 8 diatas terlihat bahwa penurunan frekuensi akibat lepasnya generator steam no.4 pada detik ke 1,01 namun frekuensi dapat bertahan dalam batas yang diperkenankan sampai pada detik ke- 1,91 dengan frekuensi sebesar 47,2 Hz, kemudian semakin bertambahnya waktu frekuensi terus mengalami penurunan hingga mencapai titik terendah pada detik ke- 12,2 dengan frekuensi sebesar 17,45 Hz, memasuki detik ke-12,3 hingga detik ke-20 frekuensi mulai meningkat dan mencapai *steady state* pada nilai 21,3 Hz. Dengan demikian dapat dikatakan sistem akan terjadi *blackout* apabila tidak dilakukan pelepasan beban yang handal.



Gambar 9. Respon tegangan saat generator steam no. 4 trip

Berdasarkan Gambar 9 respon tegangan saat generator steam no. 4 trip, di mana pada gambar diatas semua bus utama memiliki kondisi tegangan dibawah nilai yang diizinkan yaitu sebesar 0,95 p.u.

C. Static Under Frequency Load Shedding

Berdasarkan data generator dan beban pada Tabel 3, kita dapat menghitung nilai inersia total, laju penurunan frekuensi, waktu penurunan frekuensi dibawah batas yang diijinkan, waktu pelepasan beban dan jumlah beban yang harus dilepaskan sehingga frekuensi dapat kembali ke nilai yang diperbolehkan.

Adapun perhitungan static UFLS dengan skenario generator steam no.3 lepas seperti yang tertera pada Tabel 5.

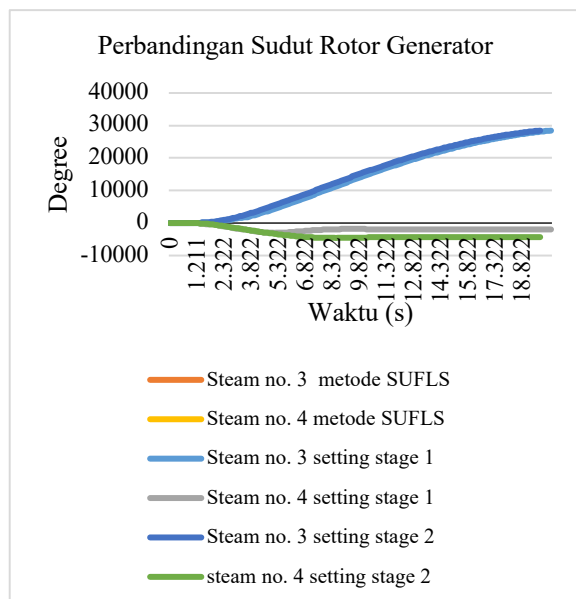
| TABEL 5<br>PERHITUNGAN STATIC UFLS |                     |                       |              |        |
|------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------|--------|
| Tahap Pelepasan beban              | H sistem (MW-s/MVA) | OL (steam no.3 lepas) | df/dt (Hz/s) | Ti (s) |
| 1                                  | 3,489               | -0,645                | -4,627       | 0,2    |
| 2                                  |                     | -0,59                 | -4,229       | 0,3    |
| 3                                  |                     | -0,336                | -2,409       | 0,5    |
| 4                                  |                     | -0,127                | -0,911       | 1,4    |
| 5                                  |                     | 0,066                 | 0,476        | 2,7    |

D. Hasil Perbandingan Metode Static Under Frequency Load Shedding Dengan Data Load Shedding Setting

Setelah menyelesaikan perhitungan metode static UFLS dan mendapatkan mekanisme pelepasan beban yang handal, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pelepasan beban pada masing-masing skenario yang telah ditentukan dan membandingkan dengan skema yang sudah ada di lapangan sesuai rancangan perusahaan.

1) Skenario 1

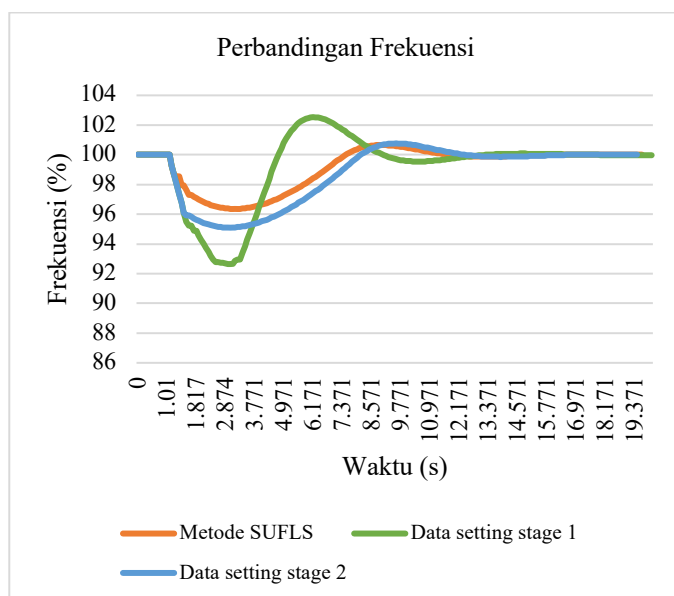




Gambar 10. Perbandingan sudut rotor generator skenario 1 setelah pelepasan beban

Berdasarkan Gambar 10 untuk sudut rotor generator steam no. 3 pada ketiga jenis mekanisme pelepasan beban memiliki nilai derajat yang cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu hal ini terjadi akibat gangguan hubung singkat *line to ground* pada node steam no. 3 yang memaksa generator harus lepas dari sistem untuk mengamankan generator dari arus hubung singkat *line to ground*.

Untuk sudut rotor steam no. 4 pada data *setting stage 1* memiliki derajat yang lebih kecil saat kondisi *steady state* dibanding dengan metode *static UFLS*, dan data *setting stage 2* hal ini terjadi karena pada pelepasan beban data *setting stage 1* jumlah beban yang dilepaskan lebih besar dibanding dengan pelepasan beban metode *static UFLS*.



Gambar 11. Perbandingan frekuensi skenario 1 setelah pelepasan beban

Dari Gambar 11 diketahui bahwa dari detik ke- 0 hingga detik ke- 1 frekuensi pada nilai 50 Hz, kemudian pada detik ke- 1,001 dilakukan gangguan hubung singkat *line to ground* pada node steam no.3 yang berdampak pada CB steam no.3 harus *open* untuk mengamankan generator dari arus hubung singkat sehingga terjadi penurunan frekuensi dan dilakukanlah mekanisme pelepasan beban yang berbeda berdasarkan metode *static UFLS* dan skema pelepasan beban yang ada di lapangan.

Untuk mekanisme pelepasan beban data *setting stage 1* nilai paling rendah penurunan frekuensi berada pada detik ke- 3 dengan nilai 46,3 Hz kemudian mulai mengalami kenaikan pada detik ke- 3,1 dan sempat mencapai nilai tertingginya di frekuensi 50,5 Hz sampai 51 Hz selama 2,9 detik. Frekuensi dapat mencapai keadaan *steady-state* dengan nilai nominalnya pada saat detik ke- 8.

Berbeda dengan mekanisme pelepasan beban data *setting stage 1* pada mekanisme pelepasan beban data *setting stage 2* nilai terendah frekuensi mencapai 47,5 Hz pada detik ke- 3,2 kemudian mulai memasuki rentang nilai operasi frekuensi pada detik ke- 7,2 dan mencapai kondisi *steady-state* dengan frekuensi 50 Hz pada detik ke- 8,64.

Sedangkan untuk mekanisme pelepasan beban metode *static UFLS* dapat diketahui bahwa frekuensi mencapai nilai paling rendah pada detik ke- 3,2 sebesar 48,1 Hz kemudian frekuensi mulai meningkat pada detik ke- 3,7 hingga mencapai keadaan *steady-state* dengan nilai standar yang diizinkan pada detik ke- 7.

Dari ketiga mekanisme pelepasan beban tersebut yang telah melewati batas aman rentang frekuensi sesuai standar yang ditentukan adalah pelepasan beban dengan data *setting stage 1* dengan frekuensi terendahnya 46,3 Hz. Hal ini terjadi akibat *time delay* yang terlalu lama untuk memutuskan beban. sedangkan mekanisme pelepasan beban data *setting stage 2* dan metode *static UFLS* memiliki batas bawah frekuensi yang masih sesuai standar di mana untuk data *setting stage 2* memiliki nilai 47,5 Hz, sedangkan untuk metode *static UFLS* dinilai frekuensi 48,1 Hz.

TABEL 6  
HASIL TEGANGAN SKENARIO 1 SETELAH MELAKUKAN  
PELEPASAN BEBAN

| Bus                           | Tegangan (p.u) |                      |                      |
|-------------------------------|----------------|----------------------|----------------------|
|                               | Static UFLS    | Data setting stage 1 | Data setting stage 2 |
| Power station 11 kV           | 0,98           | 0,99                 | 0,98                 |
| New power station 11 kV       | 0,99           | 1                    | 0,99                 |
| Overland Sub 11 kV            | 0,97           | 0                    | 0,97                 |
| Industrial sub 70 kV          | 1              | 1                    | 1                    |
| Industrial sub 11 kV          | 0              | 0                    | 0                    |
| ROM sub 11 kV                 | 1              | 1                    | 1                    |
| 2 <sup>nd</sup> OLC sub 11 kV | 0,99           | 0                    | 0,99                 |
| Marine sub 11 kV              | 0,98           | 0,99                 | 0,98                 |
| Marine 2 sub 11 kV            | 0,99           | 0,99                 | 0,99                 |
| Marine 3 sub 11 kV            | 0,99           | 0,99                 | 0,99                 |
| Jetty sub 11 kV               | 0,98           | 0,99                 | 0,98                 |

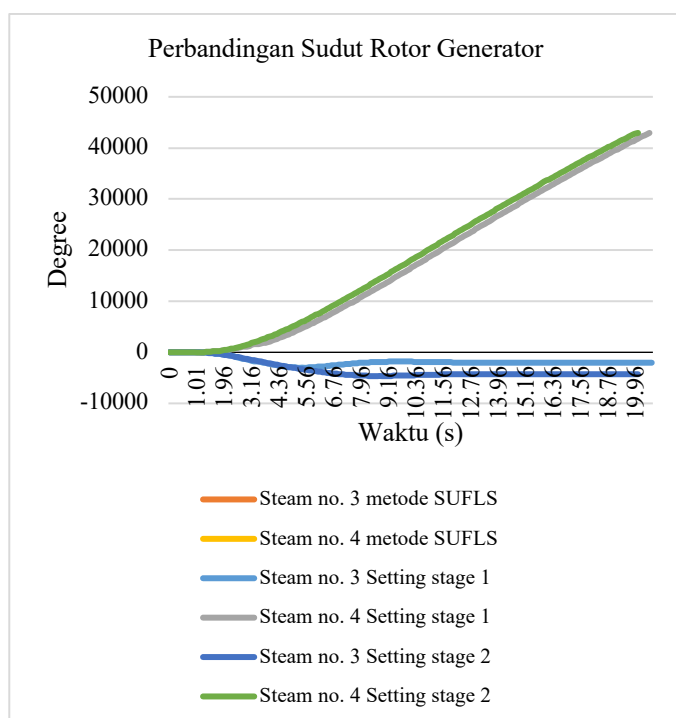
Mengacu dengan standar tegangan operasi yang diizinkan oleh PT. KPC Sangatta yaitu antara 0,95-1,05 p.u, maka dapat dikatakan bahwa pada Tabel 6 tegangan pada masing-masing

bus dengan jenis mekanisme pelepasan beban yang berbeda telah sesuai dengan batas aman yang ditentukan. Untuk mekanisme pelepasan beban *static* UFLS dan data *setting stage* 2 terdapat satu *main* bus yang dimatikan akibat tahapan pelepasan beban yaitu Industrial sub 11 kV. Sedangkan mekanisme pelepasan beban data *setting stage* 1 terdapat tiga *main* bus yang harus padam akibat dari tahapan pelepasan beban yaitu Overland sub 11 kV, Industrial sub 11 kV, dan 2<sup>nd</sup> OLC sub 11 kV.

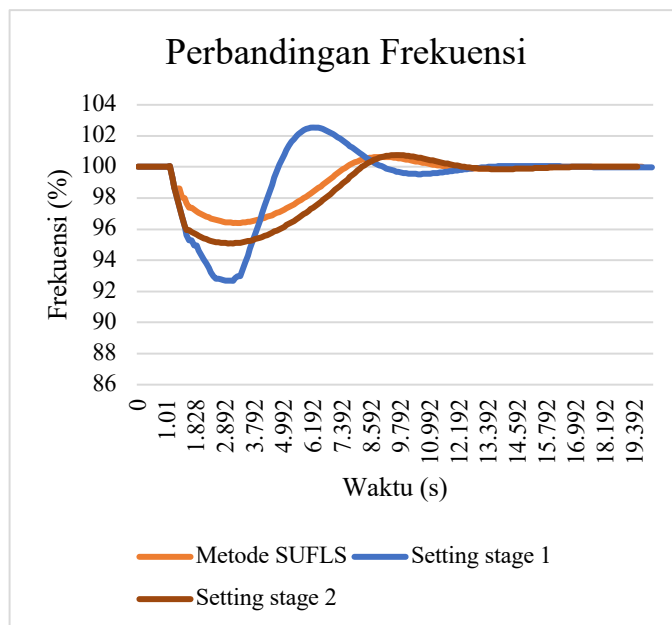
## 2) Skenario 2

Berdasarkan Gambar 12 untuk sudut rotor generator steam no. 4 pada ketiga jenis mekanisme pelepasan beban memiliki nilai derajat yang cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu hal ini terjadi akibat gangguan hubung singkat line to ground pada node steam no. 4 yang memaksa generator harus lepas dari sistem untuk mengamankan generator dari arus hubung singkat line to ground.

Untuk sudut rotor steam no. 3 pada data setting stage 1 memiliki derajat yang lebih kecil saat kondisi steady state dibanding dengan metode static UFLS, dan data setting stage 2 hal ini terjadi karena pada pelepasan beban data setting stage 1 jumlah beban yang dilepaskan lebih besar dibanding dengan pelepasan beban metode static UFLS.



Gambar 12. Perbandingan sudut rotor generator skenario 2 setelah pelepasan beban



Gambar 13. Perbandingan frekuensi skenario 2 setelah pelepasan beban

Dari Gambar 13 diketahui bahwa dari detik ke- 0 hingga detik ke- 1 frekuensi pada nilai 50 Hz, kemudian pada detik ke- 1,001 dilakukan gangguan hubung singkat *line to ground* pada node steam no.4 yang berdampak pada CB steam no.4 harus *open* untuk mengamankan generator dari arus hubung singkat sehingga terjadi penurunan frekuensi dan dilakukanlah mekanisme pelepasan beban yang berbeda berdasarkan metode *static* UFLS dan skema pelepasan beban yang ada di lapangan.

Untuk mekanisme pelepasan beban data *setting stage* 1 nilai paling rendah penurunan frekuensi berada pada detik ke- 3,02 dengan nilai 46,3 Hz kemudian mulai mengalami kenaikan pada detik ke- 3,29 dan sempat mencapai nilai tertingginya difrekuensi 50,5 Hz sampai 51,25 Hz selama 2,9 detik. Frekuensi dapat mencapai keadaan *steady-state* dengan nilai nominalnya pada saat detik ke- 8.

Berbeda dengan mekanisme pelepasan beban data *setting stage* 1 pada mekanisme pelepasan beban data *setting stage* 2 nilai terendah frekuensi mencapai 47,5 Hz pada detik ke- 3,26 kemudian mulai memasuki rentang nilai operasi frekuensi yang diizinkan 49,5 Hz pada detik ke- 8,06 dan mencapai kondisi *steady-state* pada frekuensi 50 Hz pada detik ke- 8,76.

Sedangkan untuk mekanisme pelepasan beban metode *static* UFLS dapat diketahui bahwa frekuensi mencapai nilai paling rendah pada detik ke- 2,82 sebesar 48,2 Hz kemudian frekuensi mulai meningkat pada detik ke- 4 hingga mencapai keadaan *steady-state* dengan nilai standar yang diizinkan pada detik ke- 7,12.

Dari ketiga mekanisme pelepasan beban tersebut yang telah melewati batas aman rentang frekuensi sesuai standar yang ditentukan adalah pelepasan beban dengan data *setting stage* 1 dengan frekuensi terendahnya 46,3 Hz. Hal ini terjadi akibat *time delay* yang terlalu lama untuk memutuskan beban dibanding dengan laju penurunan frekuensi. sedangkan mekanisme pelepasan beban data *setting stage* 2 dan metode *static* UFLS memiliki batas bawah frekuensi yang masih sesuai standar di mana untuk data *setting stage* 2 memiliki nilai 47,5

Hz, sedangkan untuk metode *static* UFLS dinilai frekuensi 48,2 Hz.

TABEL 7  
HASIL TEGANGAN SKENARIO 2 SETELAH MELAKUKAN  
PELEPASAN BEBAN

| Bus                           | Tegangan (p.u)        |                                       |                                       |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|                               | <i>Static</i><br>UFLS | <i>Data setting</i><br><i>stage 1</i> | <i>Data setting</i><br><i>stage 2</i> |
| Power station 11 kV           | 0,98                  | 0,99                                  | 0,98                                  |
| New power station 11 kV       | 0,99                  | 1                                     | 0,99                                  |
| Overland Sub 11 kV            | 0,97                  | 0                                     | 0,97                                  |
| Industrial sub 70 kV          | 1                     | 1                                     | 1                                     |
| Industrial sub 11 kV          | 0                     | 0                                     | 0                                     |
| ROM sub 11 kV                 | 1                     | 1                                     | 1                                     |
| 2 <sup>nd</sup> OLC sub 11 kV | 0,99                  | 0                                     | 0,99                                  |
| Marine sub 11 kV              | 0,98                  | 0,99                                  | 0,98                                  |
| Marine 2 sub 11 kV            | 0,99                  | 0,99                                  | 0,99                                  |
| Marine 3 sub 11 kV            | 0,99                  | 0,99                                  | 0,99                                  |
| Jetty sub 11 kV               | 0,98                  | 0,99                                  | 0,98                                  |

Mengacu dengan standar tegangan operasi yang diizinkan oleh PT. KPC Sangatta yaitu antara 0,95-1,05 p.u, maka dapat dikatakan bahwa pada tabel 7 tegangan pada masing-masing bus dengan jenis mekanisme pelepasan beban yang berbeda telah sesuai dengan batas aman yang ditentukan. Untuk mekanisme pelepasan beban *static* UFLS dan data *setting stage 2* terdapat satu *main* bus yang dimatikan akibat tahapan pelepasan beban yaitu Industrial sub 11 kV. Sedangkan mekanisme pelepasan beban data *setting stage 1* terdapat tiga *main* bus yang harus padam akibat dari tahapan pelepasan beban yaitu Overland sub 11 kV, Industrial sub 11 kV, dan 2<sup>nd</sup> OLC sub 11 kV.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian kestabilan sistem dan *load shedding* dengan melakukan simulasi beberapa kondisi gangguan terhadap sistem, maka dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan mekanisme pelepasan beban metode *static* UFLS untuk mengatasi masalah kestabilan sistem di PT. KPC Sangatta terbukti lebih efektif, hal ini dapat dilihat dari pengujian kestabilan sistem dengan hasil sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan perhitungan metode *static* UFLS diperoleh mekanisme pelepasan beban yang handal untuk keseluruhan skenario, di mana frekuensi terendah pada nilai 48,1 Hz dengan jumlah beban yang dilepas sebesar 9,334 MW. Untuk kestabilan tegangan dan sudut rotor memiliki hasil yang sama yaitu untuk tegangan dapat mencapai kondisi kestabilan *steady state* sesuai standar yang diizinkan oleh PT. KPC Sangatta yaitu antara 0,95-1,05 p.u. Begitu pula

untuk kestabilan sudut rotor mampu mencapai kondisi kestabilan *steady state* tergantung dari skenario yang telah ditentukan.

- 2) Berdasarkan mekanisme pelepasan beban dengan data setting stage 1 tidak dapat melakukan pemulihan frekuensi dengan handal untuk keseluruhan skenario di mana frekuensi turun dinilai 46,3 Hz dan jumlah beban yang dilepas sebesar 17,2 MW yang mengakibatkan over frequency sebagai akibat over load shedding, sedangkan dengan mekanisme pelepasan beban menggunakan data setting stage 2 mampu mengembalikan frekuensi ke nilai yang diizinkan dengan jumlah beban yang dilepaskan sebesar 9,334 MW dan nilai terendah frekuensi mencapai 47,5 Hz. Untuk kestabilan tegangan dan sudut rotor pada keseluruhan skenario memiliki hasil yang sama yaitu untuk tegangan dapat mencapai kondisi kestabilan *steady state* sesuai standar yang diizinkan oleh PT. KPC Sangatta yaitu antara 0,95-1,05 p.u. Begitu pula untuk kestabilan sudut rotor mampu mencapai kondisi kestabilan *steady state* tergantung dari skenario yang telah ditentukan.

### B. Saran

Berdasarkan simpulan yang diuraikan melalui analisis dan pembahasan sebelumnya, maka dapat diberikan saran sebagai berikut:

- 1) Dari sisi keandalan dan selektifitas, PT KPC Sangatta mungkin perlu mempertimbangkan *setting under frequency relay* menggunakan metode *static* UFLS sebagai pilihan dengan melihat perbandingan hasil analisis yang telah dilakukan.
- 2) Sebaiknya dalam perancangan mekanisme pelepasan beban harus lebih diperhatikan seiring perubahan pada sistem tenaga listrik PT. KPC Sangatta dengan mengikuti data lapangan yang terkini.

## REFERENSI

- [1] C. Andersson, J. E. Solem, dan B. Eliasson, "Classification of power system stability using support vector machines," *2005 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet.*, vol. 1, no. 2, pp. 650–655, 2005, doi: 10.1109/pes.2005.1489266.
- [2] I. B. Sulistiawati, A. D. Priasmoro, A. Lomi, dan A. Priyadi, "Study of static under frequency load shedding on IEEE 3 generators 9 bus system caused of transient condition," *J. Telecommun. Electron. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 2–3, pp. 37–42, 2018.
- [3] Kementerian ESDM, "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code)," *Menteri Energi dan Sumber Daya Miner. Republik Indones.*, no. 3, pp. 417–607, 2020, [Online]. Available: [https://jdih.esdm.go.id/storage/document/PM ESDM No 20 Tahun 2020.pdf](https://jdih.esdm.go.id/storage/document/PM%20ESDM%20No%2020%20Tahun%202020.pdf)
- [4] I. S. Association, *IEEE Standard 1159 - 1995*. 1995. [Online]. Available: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=5154067](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5154067)