



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Implementasi Modbus I/O dan Web-HMI Pada Simulator
Bay Transformator Sistem Otomasi Gardu Induk**

SKRIPSI

Khoirul Ikhwan

2203411029

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

PROGRAM STUDI TEKNIK OTOMASI LISTRIK INDUSTRI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Implementasi Modbus I/O dan Web-HMI pada Simulator Bay Transformator Sistem Otomasi Gardu Induk

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan**

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**Khoirul Ikhwan
2203411029**

**PROGRAM STUDI TEKNIK OTOMASI LISTRIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Khoirul Ikhwan

NIM : 2203411029

Tanda Tangan :

Tanggal : 22 Juni 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI

Skripsi diajukan oleh

Nama

: Khoirul Ikhwan

NIM

: 2203411029

Program Studi

: Teknik Otomasi Listrik Industri

Judul Tugas Akhir

: Implementasi Modbus I/O dan Web-HMI pada
Simulator Bay Transformator Sistem
Otomasi Gardu Induk

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada 29 Juni 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing I :

Ir. Danang Widjajanto, M.T.
NIP. 196609012000121001

Pembimbing II :

Ikhsan Kamil, S.T., M.Kom.
NIP. 196111231988031003

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 17 Juli 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Murie Dwiyanti S.T., M.T.

NIP. 197803312003122002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Implementasi Modbus I/O dan Web-HMI pada Simulator Bay Transformator Sistem Otomasi Gardu Induk" dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, atas segala rahmat, kekuatan, dan kemudahan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan doa, motivasi, dan dukungan moral maupun material tanpa henti.
3. Bapak Ir. Danang Widjajanto, M.T., selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berarti selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ikhsan Kamil, S.T., M.Kom., selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan saran dan koreksi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Ibu Dr. Murie Dwiyaniti, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.
6. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.
7. Bapak Joko Mandoyo, S.M., M.M. selaku kepala divisi *Quality control Protection & Automation* PT Siemens Indonesia yang telah memberikan kesempatan, fasilitas, dan dukungan selama proses penelitian dan pengujian alat.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8. Bapak Ari Sulistiono, A.Md.T., Andrea Menati, A.Md.T., dan Bambang Prayogo Marpaung, S.T. selaku mentor yang telah banyak membimbing dan memberikan saran serta dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir.
9. Rekan-rekan seperjuangan di PT Siemens Indonesia yang telah memberikan dukungan, semangat, serta bantuan selama proses penyusunan skripsi ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun guna perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya dalam bidang sistem otomasi gardu induk, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Depok, 22 Juni 2026

Penulis,

Khoirul Ikhwan

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRAK

Gardu induk merupakan komponen krusial dalam sistem transmisi tenaga listrik, dengan transformator daya sebagai salah satu komponen utamanya. Pengujian panel kontrol dan proteksi (Relay control panel/RCP) selama proses Factory Routine Test (FRT) dan Factory acceptance test (FAT) selama ini masih menggunakan simulator konvensional yang kompleks, kurang fleksibel, dan belum dilengkapi visualisasi HMI. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan simulator bay transformator berbasis Modbus I/O dan Web-HMI sebagai media pengujian panel kontrol dan proteksi yang lebih fleksibel dan representatif. Sistem mengintegrasikan modul Modbus Remote I/O sebagai antarmuka sinyal digital, FUXA sebagai platform Web-HMI, Node-RED sebagai pengolah logika kontrol dan event log, serta KEPServerEX sebagai gateway komunikasi IEC 61850 untuk memperoleh data dari relai Bay control unit (BCU). Pengujian dilakukan terhadap komponen Disconnecting switch (DS1, DS2), Circuit breaker (CB0, CB20), dan Earthing switch (ES8) melalui tiga metode operasi, yaitu Web-HMI, Bay control mimic (BCM), dan BCU, serta dilengkapi pengujian akurasi pembacaan data metering. Hasil pengujian menunjukkan response time sistem berada pada rentang 108–409 ms, masih berada di bawah batas standar IEC 61850-5 kategori TT2 (<500 ms), dengan perbedaan kinerja antar metode yang tidak signifikan. Pengujian akurasi metering menunjukkan deviasi yang sangat kecil antara nilai BCU dan Web-HMI, berkisar 0,001 hingga 0,04, yang menandakan tingkat akurasi data yang tinggi. Berdasarkan hasil tersebut, simulator yang dikembangkan layak digunakan sebagai media pendukung pengujian panel RCP, baik untuk kebutuhan Quality control (QC) maupun FAT.

Kata kunci: IEC 61850, Modbus TCP/IP, Response Time, Simulator Bay Transformator, Web-HMI.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRACT

Substations are a critical component of electrical power transmission systems, with power transformers as one of their main elements. Testing of control and protection panels (Relay control panel/RCP) during Factory Routine Tests (FRT) and Factory acceptance tests (FAT) has so far relied on conventional simulators that are complex, inflexible, and lack HMI visualization. This study aims to design and implement a transformer bay simulator based on Modbus I/O and Web-HMI as a more flexible and representative testing medium for control and protection panels. The system integrates a Modbus Remote I/O module as the digital signal interface, FUXA as the Web-HMI platform, Node-RED for control logic processing and event logging, and KEPServerEX as an IEC 61850 communication gateway to acquire data from the Bay control unit (BCU) relay. Testing was conducted on the Disconnecting switch (DS1, DS2), Circuit breaker (CB0, CB20), and Earthing switch (ES8) components using three operating methods—Web-HMI, Bay control mimic (BCM), and BCU—along with accuracy testing of the metering data readings. The results show that the system's response time ranges from 108–409 ms, remaining below the IEC 61850-5 TT2 category threshold (<500 ms), with no significant performance difference between methods. Metering accuracy testing showed very small deviations between BCU and Web-HMI values, ranging from 0.001 to 0.04, indicating a high level of data accuracy. Based on these results, the developed simulator is suitable for use as a supporting medium for RCP panel testing, both for Quality control (QC) and FAT purposes.

Keywords: IEC 61850, Modbus TCP/IP, Response Time, Transformer Bay Simulator, Web-HMI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Luaran	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian terdahulu.....	4
2.2 Konsep dan Teori yang Relevan.....	5
2.2.1 Gardu Induk	5
2.2.2 <i>Human Machine Interface</i> (HMI).....	12
2.2.3 Protokol Komunikasi Modbus TCP/IP	13
2.2.4 Protokol IEC 61850	13
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI ALAT.....	15
3.1 Rancangan Alat	15
3.1.1 Deskripsi Alat.....	15
3.1.2 Cara Kerja Alat.....	16
3.1.3 Spesifikasi Alat	18
3.1.4 Diagram Blok.....	19
3.1.5 Diagram Alir Sistem.....	20
3.1.6 Desain Penelitian.....	21
3.1.7 Desain Sistem.....	22
3.1.8 Desain Perancangan Alat.....	23



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.9	Diagram Pengawatan	24
3.2	Realisasi Alat.....	26
3.2.1	Konfigurasi Module Modbus Remote I/O	27
3.2.2	Implementasi Logika Node-RED.....	30
3.2.3	Implementasi Konversi IEC 61850 ke Modbus TCP/IP	32
3.2.4	Konfigurasi Web-HMI FUXA	42
BAB IV PEMBAHASAN.....		53
4.1	Pengujian Operasi dan <i>Response Time</i>	53
4.1.1	Arsitektur Plant Pengujian	53
4.1.2	Deskripsi Pengujian	54
4.1.3	Prosedur Pengujian	55
4.1.4	Data Hasil Pengujian.....	56
4.1.5	Analisa Data Pengujian.....	59
4.2	Pengujian Akurasi Pembacaan Metering pada Web-HMI.....	60
4.2.1	Deskripsi Pengujian	60
4.2.2	Prosedur Pengujian	60
4.2.3	Data Hasil Pengujian.....	61
4.2.4	Analisa Data Pengujian.....	62
4.3	Pengujian Interlock	63
4.3.1	Deskripsi Pengujian	63
4.3.2	Prosedur Pengujian	63
4.3.3	Data Hasil Pengujian.....	64
4.3.4	Analisa Data Hasil Pengujian.....	66
BAB V PENUTUP.....		67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA		69
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		71
LAMPIRAN		72



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat.....	18
Tabel 3. 2 List Tag dari Device BCU	35
Tabel 3. 3 List Link Tag	40
Tabel 3. 4 List Tag Modbus I/O	46
Tabel 3. 5 List Tag BCU.....	49
Tabel 3. 6 List Tag Internal FUXA	50
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Response time Modbus.....	56
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Response time IEC.....	57
Tabel 4. 3 Statistik Response time Modbus	58
Tabel 4. 4 Statistik Response time IEC.....	58
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Metering.....	61
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Interlock	64

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Air Insulated Substation	5
Gambar 2. 2 Gas Insulated Substation	6
Gambar 2. 3 Single Busbar	7
Gambar 2. 4 Double Busbar	7
Gambar 2. 5 One-half breaker	8
Gambar 2. 6 Transformator Daya	9
Gambar 2. 7 Disconnecting switch	9
Gambar 2. 8 Circuit breaker	10
Gambar 2. 9 Earthing switch	10
Gambar 2. 10 Lightning Arrester	11
Gambar 2. 11 Relay Proteksi	11
Gambar 2. 12 Panel Kontrol dan Proteksi	12
Gambar 2. 13 Human Machine Interface	12
Gambar 3. 1 Diagram Blok Simulator	19
Gambar 3. 2 Diagram Alir Cara Kerja Simulator	21
Gambar 3. 3 Desain Penelitian	22
Gambar 3. 4 Desain Sistem	23
Gambar 3. 5 Desain Perancangan Alat	24
Gambar 3. 6 Single Line Diagram Simulator	25
Gambar 3. 7 Wiring Diagram Simulator	26
Gambar 3. 8 Simulator Pengujian Panel	27
Gambar 3. 9 Setting IP Laptop untuk Koneksi Modul Modbus I/O	28
Gambar 3. 10 Communication Interface Modul Modbus I/O	28
Gambar 3. 11 Modul Modbus I/O yang Terkoneksi	28
Gambar 3. 12 Konfigurasi Modul Modbus I/O	29
Gambar 3. 13 Setting IP Laptop untuk Koneksi Server	29
Gambar 3. 14 Manage Pallete Node-RED	30
Gambar 3. 15 Flow Logika Kontrol dan Response time	31
Gambar 3. 16 Flow Event log	32
Gambar 3. 17 Setting Channel IEC 61850	33



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3. 18 Tampilan Channel IEC 61850	33
Gambar 3. 19 Setting Device pada Channel IEC 61850	34
Gambar 3. 20 Tag Database Setting pada Device BCU	35
Gambar 3. 21 Setting Channel Modbus TCP/IP	37
Gambar 3. 22 Setting Protokol Channel Modbus TCP/IP	38
Gambar 3. 23 Property Editor Device Modbus TCP/IP Server	38
Gambar 3. 24 List Tag Modbus TCP/IP	39
Gambar 3. 25 Tag Linking	40
Gambar 3. 26 Tampilan Tag yang Sudah Ter-Link	40
Gambar 3. 27 Tampilan Running FUXA	42
Gambar 3. 28 Tampilan Editor FUXA	43
Gambar 3. 29 Konfigurasi Koneksi FUXA-Modbus I/O	44
Gambar 3. 30 Konfigurasi Koneksi FUXA-BCU	45
Gambar 3. 31 Tampilan Koneksi yang Sudah Dibuat	45
Gambar 3. 32 Setting Tag Modbus I/O	46
Gambar 3. 33 Setting Tag BCU	48
Gambar 3. 34 Setting Tag Internal FUXA Server	50
Gambar 3. 35 Tampilan Web-HMI Simulator Bay Transformator	52

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gardu Induk, atau yang sering disebut GI, merupakan komponen krusial dalam jaringan transmisi tenaga listrik yang bertanggung jawab atas pengaturan aliran energi listrik dan penyesuaian tegangan dari pembangkit listrik ke tingkat yang dibutuhkan (Prakoso et al., 2024), (Adis Galih Firdaus, 2021). Gardu ini berfungsi sebagai titik penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju ke konsumen akhir dengan mengubah level tegangan untuk efisiensi pengiriman daya (Rosihan adi wijaya et al., 2025). Salah satu komponen utama dalam gardu induk adalah transformator daya (Ulum, 2021). Transformator merupakan komponen tenaga listrik yang sangat vital dalam penyaluran energi listrik, transformator digunakan untuk mengubah energi listrik dari satu level tegangan ke level tegangan lainnya (Pardede et al., 2023), (Ridho et al., 2024) sehingga memungkinkan proses transmisi energi listrik berlangsung secara efisien dengan meminimalkan rugi-rugi daya. Dalam mendukung proses pembelajaran dan pengujian sistem otomasi gardu induk, diperlukan suatu media simulasi yang dapat merepresentasikan kondisi kerja peralatan di lapangan tanpa melibatkan sistem sebenarnya. Pada penelitian ini, Modbus I/O dan Web-HMI berperan sebagai pusat kendali dalam simulator bay transformator. Modbus I/O digunakan untuk mensimulasikan input dan output dari peralatan switchyard sebagai perangkat dummy, sedangkan Web-HMI berfungsi sebagai antarmuka visual untuk menampilkan kondisi simulasi serta memberikan kontrol terhadap skenario yang dijalankan.

Bay transformator merupakan rangkaian peralatan listrik yang terintegrasi dan berfungsi untuk mengoperasikan, mengamankan, serta mengendalikan transformator dalam sistem gardu induk. Beberapa komponen utama yang terdapat pada bay transformator meliputi *circuit breaker* (CB), *disconnecting switch* (DS), serta *earthing switch* (ES) yang berfungsi untuk mengamankan peralatan dengan menghubungkannya ke tanah saat proses pemeliharaan. Dalam pengoperasian gardu induk modern, sistem proteksi dan kontrol menjadi bagian yang tidak terpisahkan. Salah satu perangkat penting yang digunakan adalah panel *Relay*



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Control Panel (RCP). Panel RCP berfungsi sebagai pusat pengendalian (Amelia, 2021) dan proteksi yang mengintegrasikan berbagai perangkat seperti relai proteksi, sistem kontrol, serta komunikasi dengan sistem otomasi. Panel ini bertanggung jawab dalam mendeteksi gangguan, memberikan perintah *trip*, serta memastikan sistem tetap beroperasi dalam kondisi aman dan andal.

Dalam implementasinya di industri, khususnya pada perusahaan seperti PT Siemens Indonesia, panel RCP yang telah dirancang perlu melalui serangkaian pengujian sebelum dioperasikan di lapangan. Proses pengujian ini umumnya dilakukan melalui *Factory Routine Test* (FRT) dan *Factory Acceptance Test* (FAT) untuk memastikan bahwa seluruh fungsi proteksi, kontrol, dan komunikasi berjalan sesuai dengan spesifikasi (Herdiyanto Nugroho et al., 2019), (Qinthara et al., 2021). (Qinthara et al., 2021) telah membuat sebuah alat *testing* untuk panel RCP dengan menggunakan *software* SITYPE AT dan modul PTM, tetapi alat tersebut sudah ditinggalkan dan tidak digunakan pada proses FRT dan FAT.

Simulator yang digunakan saat ini masih berbentuk konvensional berbasis rangkaian relai dengan pengawatan tetap (*hardwired*). Setiap peralatan *switching* seperti *disconnecting switch*, *circuit breaker*, dan *earthing switch* dioperasikan melalui saklar *toggle Remote/Local*, tombol tekan *Open/Close*, serta status kondisinya hanya ditampilkan melalui lampu indikator tanpa disertai tampilan grafis maupun antarmuka digital apapun. Simulator ini memiliki dua keterbatasan utama. Pertama, satu unit simulator hanya dapat digunakan untuk menguji satu jenis bay sesuai dengan pengawatan yang telah ditetapkan secara tetap, sehingga pengujian pada jenis bay yang berbeda seperti bay *Bus Coupler*, bay *Overhead Line*, maupun bay Transformator memerlukan unit simulator yang berbeda-beda pula. Kedua, seluruh indikasi status peralatan hanya dapat diamati secara langsung melalui lampu indikator pada panel, tanpa adanya visualisasi HMI yang mampu menampilkan kondisi operasi secara *real-time* maupun menyimpan riwayat pengujian untuk keperluan dokumentasi dan analisis.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu pengembangan sistem simulator yang lebih simpel dan fleksibel terhadap kondisi nyata gardu induk. Oleh karena itu, penulis mengusulkan penelitian dengan judul “Implementasi Modbus I/O dan SCADA-HMI pada Simulator Bay Transformator Sistem Otomasi Gardu Induk”.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sistem ini diharapkan bisa menjadi alat testing yang lebih fleksibel, mampu mensimulasikan operasi gardu induk secara lebih realistis, mendukung pengujian panel RCP secara efektif, serta menyediakan visualisasi yang memudahkan analisis dan pengambilan keputusan.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, terdapat beberapa rumusan masalah antara lain:

1. Bagaimana perancangan dan pembangunan simulator pengujian panel kontrol dan proteksi pada sistem bay transformator di gardu induk berbasis Modbus I/O dan Web-HMI?
2. Bagaimana merancang tampilan HMI yang mampu memvisualisasikan status peralatan pada bay transformator secara *real time*?
3. Bagaimana kinerja dan tingkat kesesuaian simulator yang dirancang dalam mensimulasikan serta mendukung pengujian sistem kontrol dan proteksi bay transformator di gardu induk?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, terdapat tujuan dari dilakukannya pada penelitian ini, antara lain:

1. Merancang dan mengimplementasikan alat simulator bay transformator berbasis Modbus I/O sebagai media pengujian panel dan *quality control*.
2. Merancang desain tampilan HMI untuk memvisualisasikan status peralatan secara *real-time*.
3. Menganalisis kinerja dan mengevaluasi tingkat kesesuaian simulator sebagai sarana simulasi serta pengujian sistem kontrol dan proteksi pada bay transformator di gardu induk.

1.4 Luaran

Luaran yang dihasilkan dari perancangan ini meliputi:

1. Laporan tugas akhir (TA) atau skripsi.
2. Simulator pengujian panel bay transformator berbasis Modbus I/O dan HMI.
3. Program logika kontrol dan *interlock* Modbus I/O yang diimplementasikan pada simulator.
4. Desain HMI simulator pengujian.
5. Artikel publikasi.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Simulator bay transformator berhasil dirancang dan direalisasikan menggunakan modul Modbus Remote I/O, Node-RED, Web HMI FUXA, serta KEPServerEX sebagai gateway komunikasi IEC 61850 ke Modbus TCP/IP. Simulator mampu merepresentasikan operasi dan indikasi peralatan bay transformator, meliputi *Circuit breaker* (CB), *Disconnecting switch* (DS), dan *Earthing switch* (ES), sehingga dapat digunakan sebagai media simulasi sistem otomasi gardu induk.
2. Sistem *monitoring* dan kontrol berhasil diimplementasikan melalui Web HMI FUXA dengan memanfaatkan Node-RED sebagai pengolah logika kontrol. Selain itu, simulator mampu menerima perintah operasi melalui Web HMI, *Bay control mimic* (BCM), maupun *Bay control unit* (BCU), serta menampilkan status peralatan, *event log*, dan data pengukuran dari relai BCU secara *real-time* melalui komunikasi Modbus TCP/IP dan IEC 61850.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *response time* komunikasi internal simulator (Modbus) memiliki waktu respons tercepat sebesar 106 ms, terlambat sebesar 139 ms, dengan rata-rata 121,9 ms. Sementara itu, *response time* komunikasi antara simulator dan relai BCU melalui protokol IEC 61850 memiliki waktu respons tercepat sebesar 108 ms, terlambat sebesar 409 ms, dengan rata-rata 255,4 ms. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komunikasi Modbus memiliki waktu respons yang lebih cepat dan lebih konsisten dibandingkan komunikasi IEC, karena komunikasi IEC melibatkan proses komunikasi dan feedback dari relai BCU.
4. Berdasarkan hasil pengujian fungsional dan pengujian *response time*, simulator mampu menjalankan fungsi *monitoring* dan kontrol sesuai skenario operasi panel kontrol dan proteksi. Seluruh hasil pengujian



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

response time berada di bawah 500 ms, sehingga memenuhi persyaratan waktu transfer untuk fungsi *monitoring* dan kontrol berdasarkan standar IEC 61850-5. Dengan demikian, simulator yang dikembangkan dinilai layak digunakan sehingga sistem layak digunakan sebagai media pendukung pengujian panel kontrol dan proteksi pada kegiatan *Quality Control* (QC) maupun *Factory Acceptance Test* (FAT).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Simulator dapat dikembangkan dengan menambahkan simulasi lebih banyak jenis bay, seperti bay kapasitor dan bay reaktor, sehingga dapat digunakan pada proses pengujian panel kontrol dan proteksi untuk berbagai konfigurasi gardu induk.
2. Pengujian sistem dapat diperluas dengan melibatkan lebih banyak jenis *Intelligent electronic device* (IED) dari berbagai vendor. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kompatibilitas sistem terhadap berbagai jenis IED dari vendor yang berbeda.
3. Simulator yang telah dikembangkan dapat diterapkan dan dievaluasi lebih lanjut pada kegiatan *Quality Control* (QC) dan *Factory Acceptance Test* (FAT) secara langsung untuk mengetahui tingkat efektivitasnya dalam mendukung proses pengujian panel kontrol dan proteksi di lingkungan industri



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Adis Galih Firdaus. (2021). Analisa Pengujian Kelayakan Operasi Pemutus Tenaga (PMT) 150 kV Bay Penghantar Mandirancan I Berdasarkan Parameter Breaker Analyzer di Gardu Induk Sunyaragi. *Electrician*, 15(3), 252–267. <https://doi.org/10.23960/elc.v15n3.2195>
- Amelia, R. (2021). Sistem Kendali 2 Heater guna Mencegah Kerusakan Panel Kontrol 150 kV di Gardu Induk. *Jurnal J-Innovation*, 10(1), 20–23.
- Ananda, A. S. P., Ii Munadhif, I. M., Isa, I. R., Ryan, R. Y. A., & Rini, R. I. (2023). Integrasi Sistem Komunikasi Modbus TCP/IP pada PLC Siemens S7-1200, ESP32, dan HMI. *Jurnal Elektronika Dan Otomasi Industri*, 10(2), 234–244. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v10i2.3254>
- Annisa, S. C., & Mardiansah, A. (2023). Analisis Permasalahan *Disconnecting switch* Pada Unit Induk Transmisi Jawa Barat. *JuTEks*, 10(2), 68–72.
- Eka Rania Putri. (2023). *ANALISA PENGUJIAN LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT (LCM) TAHUNAN PADA LIGHTNING ARRESTER BERUMUR TUA DI GARDU INDUK 70 KV SUNGAI KEDUKAN PALEMBANG*. 6–29. <https://www.polsri.ac.id/profile-polsri/lambang-politeknik/>
- Hartanto, S., Pahlavi, R., & Priyono, T. O. (2023). PENGUJIAN KINERJA PMT 20 kV PADA KUBIKEL NETTO GARDU INDUK PLTMG SENAYAN. *Teknokris*, 26(1), 45–53. <https://doi.org/10.61488/teknokris.v26i1.259>
- Herdianto Nugroho, A., Syaefudin, M., Ahmad Yon Khoerul, dan, Teknik Elektro, J., & Negeri Jakarta Jl Ir G A Siwabessy Kampus, P. D. (2019). Prosedur *Quality control* Panel Proteksi Bus Coupler 150 Kv Project Gardu Induk Kupang Pt. Siemens Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 4, 101–106.
- Kurniawan, I. H. (2020). Rancang Bangun Simulator Sistem SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) Pada Gardu Induk Rawalo. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER TRIAC*, 7.
- Mahrusi, M. W., Widjajanto, D., Setiana, H., Hanif, F., & Adiyatma, B. (2025). Studi Pengiriman Data Suhu dari ESP32 ke PLC Menggunakan Protokol Modbus TCP / IP Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Volume 11 Tahun 2025. *Prosiding Seminar Nasional Teknik ELEktro*, 11(TCP / IP), 1–6.
- Pardede, R. T., Ezwarsyah, E., Kartika, K., & Asran, A. (2023). Studi Kondisi Minyak Transformator Daya Berdasarkan Hasil Uji Dissolved Gas Analysis (Dga) Dengan Metode Total Dissolved Combustible Gas (Tdcg) Dan Metode Key Gas Di Pt.Indonesia Power Pltu Pangkalan Susu. *Jurnal Energi Elektrik*, 12(2), 13. <https://doi.org/10.29103/jee.v12i2.13519>
- Permata Nugraha, T. A. (2025). Sistem Informasi Gangguan Secara Realtime Dari Relai Proteksi Dengan Protokol IEC 61850. *Jurnal Teknologi Elektro*, 16(1)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

34. <https://doi.org/10.22441/jte.2025.v16i1.007>

Prakoso, M. A., Elektro, S. T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Elektro, S. T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Kunci, K., Tenaga, P., Isolasi, T., Kontak, T., & Kontak, K. (2024). Analisis Pengujian dan Pemeliharaan Dua Tahunan Pemutus Tenaga (PMT) Di Gardu Induk Rungkut 150 kV Joko, Achmad Imam Agung, Fendi Achmad Abstrak Pemeliharaan instalasi tenaga listrik di Gardu Induk melibatkan serangkaian pengujian untuk memastikan kea. *Jurnal Teknik Elektro*, 13, 144–151.

Qinthara, N., Pambudi, K. P., Satrio, A., Achmadiansyah, B., & Faza, M. H. (2021). Pemrograman Automatic Testing Pada Panel Kontrol Overhead Line Menggunakan Software SITPE AT dan PTM Module. *Prosiding Seminar Nasional Teknik ELEKTRO*, 6, 281–285.

Ridho, M., Siagian, P., Tharo, Z., Pembangunan, U., & Budi, P. (2024). TERHADAP KINERJA SISTEM PROTEKSI GARDU INDUK 150 KV. *JITET (Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan)*, 12(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5321>

Rosihan adi wijaya, Supriyatna, & Sultan. (2025). Analisis Sistem Proteksi Rele Differensial Pada Busbar Di Gardu Induk 150 kV Paokmotong. *Dielektrika*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.29303/dielektrika.v12i1.404>

Sadi, S. (2020). Implementasi Human Interface Mesin Heel Lasting Chin Ei Berbasis Programmable Logic Controller. *Jurnal Teknik: Universitas Muhammadiyah Tangerang*, 9(1), 18–24.

Sugianto, S., Ariman, A., & Hadi, V. (2022). Studi Analisa Pengukuran Jarak Kelistrikan Gardu Induk 150 Kv. *Sinusoida*, 24(1), 18–27. <https://doi.org/10.37277/s.v24i1.1330>

Ulum, M. N. (2021). ANALISIS SETTING KOORDINASI RELAI JARAK DALAM SISTEM PROTEKSI SALURAN TRANSMISI 150 KV GARDU INDUK PLTMG BAUBAU - GARDU INDUK BAUBAU - GARDU INDUK RAHA.

Wiharja, U., & Prasetyo, A. A. (2024). Analisa Arus Dan Tegangan Listrik Pada Gas Insulated Switchgear Plumpang 150 kV. *Jurnal Elektro*, 12(1), 39–47.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Khoirul Ikhwan,

Lahir di Bogor pada 29 April 2003, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN Lanbau 1 pada tahun 2015, kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Citeureup dan menyelesaikan studi pada tahun 2018, lalu melanjutkan pendidikan kejuruan di SMKN 1 Cibinong dan selesai pada tahun 2022. Hingga saat ini, penulis masih terdaftar sebagai mahasiswa aktif pada Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.



LAMPIRAN

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

