



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta



PENGEMBANGAN SISTEM *MONITORING* ENERGI TERINTEGRASI EDGE-HMI-IOT PADA PANEL LVMDP UNTUK OPTIMALISASI SISTEM MANAJEMEN ENERGI ISO 50001 MELALUI *EARLY WARNING*

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mencapai derajat Magister Terapan dalam
Bidang Rekayasa Tenaga Listrik

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA
INZIE LAZIERA
2409511005

PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN TEKNIK ELEKTRO
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis ini saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di Politeknik Negeri Jakarta.

Jika kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diajukan oleh Politeknik Negeri Jakarta kepada saya.



Depok, 29 Juni 2026

Inzie Laziera

2409511005

- 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



HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya susun ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber baik yang saya kutip maupun saya rujuk telah saya nyatakan benar.



Nama : Inzie Laziera

NIM : 2409511005

Tanda Tangan : 

Tanggal : 9 Juli 2026

**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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

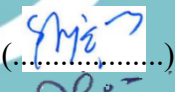
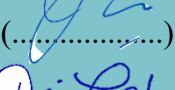
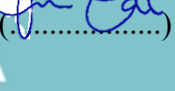


HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini yang telah diajukan oleh :

Nama : Inzie Laziera
NIM : 2409511005
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul : Pengembangan Sistem Monitoring Energi Terintegrasi Edge-HMI-IOT
Pada Panel LVMDP Untuk Optimalisasi Sistem Manajemen Energi ISO
50001 Melalui *Early Warning*

Telah diuji oleh Tim Penguji dalam Sidang Tesis pada hari Jumat tanggal 17 Juli 2026 dan dinyatakan LULUS untuk memperoleh derajat gelar Magister Terapan pada Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta

Pembimbing I	: Dr. Murie Dwiyanti, S.T., M.T.	()
Pembimbing II	: Dr. Isdawimah, S.T., M.T.	()
Penguji I	: Mera Kartika Delimayanti, S.Si., M.T., Ph.D.	()
Penguji II	: Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si.	()
Penguji III	: Dr. Ir. Dewi Yanti Liliana, S.Kom., M.Kom	()

Depok, 27 Juli 2026

Diketahui Oleh

Ketua Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta



Prof. Dr. Tatun Hayatun Nufus, M.Si.

NIP. 19660416199512200

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



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Inzie Laziera
NIM : 2409511005
Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro
Jenis Karya : Tesis

Demikian pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalti – Free Right*) atas karya ilmiah saya berjudul : Pengembangan Sistem Monitoring Energi Terintegrasi Edge-HMI-IOT Pada Panel LVMDP Untuk Optimalisasi Sistem Manajemen Energi ISO 50001 Melalui *Early Warning*. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalih mediasi/mengalih informasikan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*data base*), merawat dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Juli 2026

Yang menyatakan

Inzie Laziera

2409511005

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



ABSTRAK

Nama : Inzie Laziera

Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro

Judul Tesis : Pengembangan Sistem Monitoring Energi Terintegrasi Edge-HMI-IOT

Pada Panel LVMDP Untuk Optimalisasi Sistem Manajemen Energi ISO 50001 Melalui *Early Warning*

Monitoring energi pada panel *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP) masih banyak dilakukan secara manual sehingga kurang mendukung pemantauan *real time*, penyimpanan data historis, dan deteksi dini kondisi *abnormal*. Kondisi tersebut menyebabkan proses pengambilan keputusan dalam pengelolaan energi belum optimal serta belum sepenuhnya mendukung implementasi Sistem Manajemen Energi (*Energy Management System/EnMS*) berdasarkan ISO 50001. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring energi berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efektivitas manajemen energi. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi arsitektur Edge-HMI-IoT yang menggabungkan akuisisi data, visualisasi *real time*, penyimpanan *cloud*, fitur *early warning*, serta evaluasi berbasis siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) sesuai prinsip *continuous improvement* pada ISO 50001. Sistem dibangun menggunakan *PowerLogic PM5350*, *Current Transformer* (CT), PLC, HMI, dan *Haiwell Cloud SCADA*. Pengujian dilakukan menggunakan *functional testing*, *gap analysis*, analisis statistik deskriptif dengan *Minitab® 22*, serta pengujian performa komunikasi berdasarkan standar *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON). Hasil menunjukkan rata-rata kesalahan pembacaan arus, tegangan, daya aktif, daya reaktif, kVA, faktor daya, frekuensi, dan energi berturut-turut sebesar 0,02%, 0,27%, 0,03%, 0,01%, 0,02%, 0,57%, 0,02%, dan 0,01%. Analisis statistik menunjukkan nilai rata-rata arus 2218,16 A, tegangan 153,503 V, dan frekuensi 50 Hz, yang mengindikasikan kestabilan parameter kelistrikan selama pengujian. Pengujian komunikasi menghasilkan nilai *delay* sebesar 48,27 ms, termasuk kategori Sangat Baik menurut standar TIPHON sehingga mendukung fungsi *real time monitoring* dan *early warning*. Implementasi sistem menurunkan konsumsi energi maksimum dari 11 GWh menjadi 7 GWh, *Rasio Energy Consumption* dari 57,42 menjadi 49,34, serta biaya listrik dari Rp7,31 miliar menjadi Rp6,94 miliar. Hasil penelitian membuktikan bahwa sistem yang dikembangkan meningkatkan keandalan monitoring, mendukung optimalisasi manajemen energi, dan memperkuat implementasi ISO 50001 melalui penyediaan data energi yang akurat, *real time*, dan berkelanjutan.

Kata Kunci : *Energy Monitoring*; LVMDP; *Internet of Things* (IoT); ISO 50001, *Energy Management System*, *early Warning system*.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis yang berjudul “Pengembangan Sistem Monitoring Terintegrasi Edge-HMI-IOT Pada Panel LVMDP Untuk Optimalisasi Sistem Manajemen Energi ISO 50001 Melalui *Early Warning*”. Tesis ini diajukan sebagai persyaratan untuk meraih gelar Magister Teknik yang diajukan oleh Program Studi Magister Teknik Elektro di Politeknik Negeri Jakarta. Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih terhadap bantuan dari pihak yang telah berkontribusi dengan memberikan sumbangan baik pikiran maupun materinya, terutama dikhususkan kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan, ilmu, serta waktu untuk menyelesaikan tesis ini.
2. Kedua orang tua yang selaku memberikan dukungan, semangat, dan doa untuk keberhasilan penulis.
3. Ibu Dr. Murie Dwiyaniti, S. T., M. T., Selaku dosen pembimbing pertama yang selalu memberikan dukungan, saran, motivasi dan arahan dalam menyelesaikan tesis ini.
4. Ibu Dr. Isdawimah, S. T., M. T., Selaku dosen pembimbing kedua yang selalu memberikan dukungan, saran, motivasi dan arahan dalam menyelesaikan tesis ini.
5. Bapak Wahyu Anto Trianto, S. T., Selaku *Factory Manager* PT. Tirta Fresindo Jaya Plant Cianjur yang selalu memberikan kesempatan berkembang, motivasi dan semangat dalam menyelesaikan tesis ini.
6. Rekan kerja PT. Tirta Fresindo Jaya Plant Cianjur yang selalu memberikan semangat dan mendukung dalam menyelesaikan tesis ini.
7. Teman Teknik Elektro 2024, terutama Mahmudin, S. T., yang selalu memberikan nasihat dan saran serta membimbing kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga laporan Tesis ini memberikan manfaat bagi orang – orang yang menekuni di bidang pengembangan ilmu.

Depok 10 Juli 2026


Inzie Laziera

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 ISI

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta		
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	ii	
HALAMAN PENGESAHAN ORISINALITAS.....	iii	
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv	
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPEMILIKAN AKADEMIK.....	v	
ABSTRAK.....	vi	
KATA PENGANTAR.....	vii	
DAFTAR ISI.....	viii	
DAFTAR GAMBAR.....	xii	
DAFTAR TABEL.....	xv	
BAB I PENDAHULUAN	1	
1.1 Latar Belakang	1	
1.2 Perumusan Masalah	4	
1.3 Tujuan Penelitian	4	
1.4 Manfaat Penelitian	4	
a. Manfaat bagi mahasiswa	4	
b. Manfaat bagi perusahaan	5	
1.5 Batasan Masalah	5	
BAB II TEORI DASAR	6	
2.1 Penelitian Berkaitan Sebelumnya	6	
2.2 Energi Listrik	8	
2.3 Jenis Daya	8	
2.3.1 Daya Aktif	8	
2.2.2 Daya Reaktif	8	



© 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 kritis 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

2.2	Daya Total	8
2.4	<i>Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDP)</i>	9
2.5	Energi Meter Power Logic TM PM5350	9
2.6	<i>Supervisory Control And Date Acquistion (SCADA)</i>	10
2.7	<i>Program Logic Controller (PLC)</i>	10
2.8	<i>Human Machine Interface (HMI)</i>	11
2.9	Sistem Monitoring	11
2.1	<i>Internet Of Things (IoT)</i>	12
2.1.1	Arsitektur IoT	12
2.11	Optimalisasi Energi	14
2.11.1	<i>Plan-Do-Check-A</i>	15
2.12	Sistem Proteksi <i>Early Warning</i>	16
2.13	Fungsional Testing (<i>Unit Testing</i>)	17
2.14	<i>Gap Analysis</i>	17
2.15	Data Pemakaian LVMDP Periode (Januari – Maret 2026).....	17
2.16	Data LVMDP-2 Periode (Januari – MTD April).....	18
2.17	Data, Biaya dan Rasio Pemakaian Listrik PT.X (Januari – Maret 2026	19
BAB III METODE PENELITIAN		21
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.1.1	Lokasi Penelitian	21
3.1.2	Waktu Penelitian	21
3.2	Metode Pengumpulan Data	21
3.2.1	Identifikasi Masalah	21
3.2.2	Observasi Lapangan (<i>Field Observastion</i>)	21



© 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.2	Studi Dokumentasi	21
3.2.1	<i>Single Line Diagram</i>	22
3.2.2	Laporan Studi Kasus	23
3.2	Wawancara	23
3.2	Studi Literatur	24
3.3	Diagram Alir Penelitian	24
3.4	Alat dan Bahan	25
3.5	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	25
3.5	Instal Program PLC	26
3.5.1.1	Upload <i>Software</i> PLC	33
3.5.2	Instalasi Progran HMI	34
3.5.2.1	Tampilan <i>Design</i> HMI (Layer 1)	35
3.5.2.2	Tampilan <i>Design</i> HMI (Layer 2)	36
3.5.2.3	Tampilan <i>Design</i> HMI (Layer 3)	36
3.5.3	Upload Program HMI	37
3.5.3.1	Konfigurasi IP Address Pada HMI	37
3.5.3.2	Upload <i>Software</i> Pada HMI	38
3.5.4	Konfigurasi <i>Software</i> PLC ke HMI	38
3.5.5	<i>Upload</i> Program To HMI	39
3.5.6	Instalasi <i>Cloud</i>	40
3.6	Perancangan <i>Hardware</i>	41
3.6.1	Diagram Alur Kerja (<i>Hardware</i>)	41
3.6.1.1	Instalasi Peralatan Listrik	43
3.7	Menentukan Sistem Proteksi <i>Early Warning</i>	43



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

3.7	<i>Early Warning Ampere</i>	44
3.7	<i>Early Warning Voltage</i>	45
3.8	Arsitektur Alat.....	45
3.9	Metode Pengujian <i>Functional Test</i>	47
3.1	Metode Evaluasi dan Implementasi <i>Gap Analysis</i>	47
3.1	Metode Evaluasi dan Implementasi PDCA (<i>Plan-Do-Check-Act</i>)	48
3.1	Metode Analisis Statistik Deskriptif.....	49
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		50
4.1	Hasil Realisasi Alat.....	50
4.1.1	Realisasi <i>Hardware</i>	50
4.1.2	Realisasi <i>Software</i>	50
4.2	Hasil Pengujian Sistem <i>Functional Testing (Unit Testing)</i>	51
4.3	Hasil Pengujian <i>Gap Analisy</i>	54
4.4	Hasil Evaluasi Optimalisasi Management Energi.....	61
4.5	Hasil Statistik Deskriptif.....	64
4.6	Analisis Pengujian <i>Quality of Service (QoS)</i>	66
4.6.1	Analisis Pengujian <i>Delay Komunikasi Wireshark</i>	67
BAB V PENUTUP		71
5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran	72
DAFTAR PUSTAKA		74



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Panel LVMDP	9
Gambar 2 <i>Power Logic</i> TM	10
Gambar 3 Konsep Model SCADA Monitoring Energi	10
Gambar 4 <i>Programmable Logic Control</i> (PLC)	11
Gambar 5 Model HMI	11
Gambar 6 <i>Internet Of Things</i>	12
Gambar 7 <i>Single Line Diagram</i> PT. X	22
Gambar 8 Laporan Kerusakan Pada Peralatan Kelistrikan.....	23
Gambar 9 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 10 Flowchart Diagram Alir <i>Software</i>	26
Gambar 11 Tampilan Haiwell Happy Programming	27
Gambar 12 Pemilihan Awal Program Pada Penamaan Variabel	27
Gambar 13 Perubahan Code dan Memasukan Code Variabel	27
Gambar 14 Penyesuaian Pada Hasil Pembacaan (<i>Receive Data</i>)	27
Gambar 15 Ladder Arus Fasa A.....	27
Gambar 16 Ladder Arus Fasa B.....	28
Gambar 17 Ladder Arus Fasa C.....	28
Gambar 18 Ladder Arus Avg	28
Gambar 19 Ladder <i>Voltage</i> A-N.....	28
Gambar 20 Ladder <i>Voltage</i> B-N.....	28
Gambar 21 Ladder <i>Voltage</i> C-N.....	29
Gambar 22 Ladder <i>Voltage</i> AVG.....	29
Gambar 23 Ladder Frekuensi.....	29
Gambar 24 Ladder <i>Active Power Fasa A</i>	29
Gambar 25 Ladder <i>Active Power Fasa B</i>	29
Gambar 26 Ladder <i>Active Power Fasa C1</i>	30
Gambar 27 Ladder <i>Active Power Power Total</i>	30
Gambar 28 Ladder <i>Reactive Power A</i>	30

- 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



Gambar 29 Ladder <i>Reactive Power B</i>	30
Gambar 30 Ladder <i>Reactive Power C</i>	30
Gambar 31 Ladder <i>Reactive Power T</i>	31
Gambar 32 Ladder KVA Phasa A	31
Gambar 33 Ladder KVA Phasa B	31
Gambar 34 Ladder KVA Phasa C	31
Gambar 35 Ladder KVA Total	31
Gambar 36 Ladder <i>Power Factor Total</i>	32
Gambar 37 Ladder <i>AVG Phase to Phase</i>	32
Gambar 38 Ladder kWh Total	32
Gambar 39 Program Ladder PLC Variabel Parameter dan <i>Alarm Trigger</i>	34
Gambar 40 Proses Upload Program PLC	34
Gambar 41 Prosedur Instalasi <i>Software</i> HMI	35
Gambar 42 Tampilan <i>Design</i> HMI (Layer 1).....	35
Gambar 43 Tampilan <i>Design</i> HMI (Layer 2).....	36
Gambar 44 Tampilan <i>Design</i> HMI (Layer 3).....	36
Gambar 45 Tahapan Konfigurasi Koneksi Antara Perangkat HMI	37
Gambar 46 Tahapan Pengunduhan Program Ke Perangkat HMI	38
Gambar 47 Konfigurasi <i>Software</i> PLC Ke HMI.....	39
Gambar 48 Tahapan Progres Upload dan <i>Download</i> Program Pada PLC dan HMI	39
Gambar 49 Alur Proses Instalasi Aplikasi Cloud.....	40
Gambar 50 Perancangan <i>Hardware</i>	41
Gambar 51 Diagram Alur Kerja (<i>Hardware</i>).....	42
Gambar 52 Instalasi Peralatan Listrik Monitoring Energi Terintegrasi Edge-HMI-IoT	43
Gambar 53 Arsitektur <i>Internet of Things</i> Alat Pengembangan Monitoring Energi... ..	45
Gambar 54 Realisasi <i>Hardware</i>	50
Gambar 55 Realisasi <i>Software</i>	51
Gambar 56 Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Ampere A)</i>	56
Gambar 57 Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Ampere B)</i>	56

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



Gambar 58	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Ampere C)</i>	56
Gambar 59	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Ampere AVG)</i>	56
Gambar 60	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Voltage A)</i>	57
Gambar 61	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Voltage B)</i>	57
Gambar 62	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Voltage C)</i>	57
Gambar 63	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Voltage AVG)</i>	57
Gambar 64	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Active Power A)</i>	58
Gambar 65	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Active Power B)</i>	58
Gambar 66	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Active Power C)</i>	58
Gambar 67	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Active Power Total)</i>	58
Gambar 68	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (kVA A)</i>	59
Gambar 69	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (kVA B)</i>	59
Gambar 70	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (kVA C)</i>	59
Gambar 71	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (kVA Total)</i>	60
Gambar 72	Grafik Tren Pemakaian Energi Listrik Harian Sebelum dan Sesudah Implementasi Sistem Periode April 2025	60
Gambar 73	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy</i> Energi Listrik Periode Bulan April	61
Gambar 74	Grafik Hasil Perbandingan <i>Gap Analisy (Factor Daya)</i>	61
Gambar 75	Grafik Rasio Pemakaian Energi Listrik Periode Maret – Juni 2026	62
Gambar 76	Grafik Total Pemakaian Energi Listrik Periode Maret – Juni 2026	63
Gambar 77	Grafik Biaya Pemakaian Energi Listrik Periode Maret – Juni 2026	63
Gambar 78	Grafik Kontribusi Energi Pada Panel LVMDP	64
Gambar 79	Analisis Statistik <i>Before - After</i> Menggunakan Minitab® 22	64
Gambar 80	Hasil Analisa Statistik Deskriptif (Minitab ® 22)	65
Gambar 81	Tampilan IP <i>Haiwel Cloud</i> menggunakan <i>Wildshark</i>	67
Gambar 82	Hasil <i>Transmitter Control Protocol 1</i>	67
Gambar 83	Hasil <i>Transmitter Control Protocol 2</i>	68
Gambar 84	Hasil <i>Transmitter Control Protocol 3</i>	68
Gambar 85	Hasil <i>Transmitter Control Protocol</i> Secara Keseluruhan Pengujian	69

- 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 TABEL

Tabel 1	Management ISO 50001	15
Tabel 2	Data LVMDP PT. X Periode (Januari – Maret 2026)	18
Tabel 3	Data kWH Meter LVMDP-2 PT.X Periode Januari – April 2026.....	19
Tabel 4	Data, Biaya dan Rasio Pemakaian Listrik PT.X (Januari – Maret 2026).....	20
Tabel 5	List Kebutuhan Penunjang	25
Tabel 6	Kode Ladder Variabel dan Fungsi.....	33
Tabel 7	Spesifikasi Proteksi Panel	44
Tabel 8	Metode Fungsional Testing	47
Tabel 9	Metode Pengujian <i>Gap Analysis</i>	48
Tabel 10	Standar Form Evaluasi PDCA	49
Tabel 11	Hasil Pengujian Fungsional Testing (<i>Ampere</i>)	52
Tabel 12	Hasil Pengujian Fungsional Testing (<i>Voltage</i>)	53
Tabel 13	Hasil Pengujian Fungsional Testing (<i>Active Power</i>).....	53
Tabel 14	Hasil Pengujian Fungsional Testing (<i>Reactive Power</i>).....	53
Tabel 15	Hasil Pengujian Fungsional Testing (<i>kVA</i>).....	53
Tabel 16	Hasil Pengujian Fungsional Testing (<i>Energy</i>).....	53
Tabel 17	Hasil Pengujian Fungsional Testing (<i>Factor Daya</i>).....	54
Tabel 18	Hasil Pengujian Fungsional Testing (<i>Frequency</i>)	54
Tabel 19	Hasil Pengujian <i>Gap Analisy</i>	55
Tabel 20	PDCA Pada LVMDP-2.....	62
Tabel 21	Hasil Pengujian <i>Delay</i>	69

- 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



BAB I PENDAHULUAN

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

1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama yang memiliki peranan sangat vital dalam menunjang aktivitas manusia. Hampir seluruh kegiatan, mulai dari kegiatan rumah tangga hingga operasional industri dan transportasi, sangat bergantung pada ketersediaan energi listrik [1]. Panel *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP) merupakan peralatan listrik yang berperan sebagai pusat distribusi utama pada sistem tegangan rendah. Panel ini berfungsi mendistribusikan energi listrik ke berbagai beban, membatasi daya sesuai kebutuhan, serta memberikan proteksi terhadap gangguan pada sistem distribusi [2]. Permasalahan kualitas daya listrik umumnya berkaitan dengan kondisi tidak normal pada tegangan, arus maupun daya yang dapat mengakibatkan gangguan operasional, kerusakan pada peralatan listrik, serta terhentinya proses penyaluran energi listrik [3]. Agar penyaluran listrik tetap andal, transformator harus dipelihara dan dipantau dengan baik, terutama terhadap ketidakseimbangan tegangan, arus dan beban berlebih. Jika beban melebihi kapasitas nominal, transformator dapat mengalami panas berlebih yang, bila terjadi terus – menerus, akan mempercepat kerusakan isolasi dan mengurangi operasinya [4]. Di setiap sistem kelistrikan memerlukan indikator sebagai alat untuk memantau dan memastikan kinerja sistem tetap berjalan secara normal. Namun, pada sistem konvensional, kemampuan deteksi masih terbatas sehingga tidak dapat memberikan hasil yang akurat [5].

Penerapan sistem monitoring dengan menggunakan power meter pada panel distribusi daya di lingkungan industri saat ini sudah menjadi hal umum, dalam praktik konvensional, proses pemantauan masih dilakukan secara manual, dimana operator mencatat hasil pengukuran dari power meter ke dalam buku log setiap jam di depan panel. Metode ini memiliki keterbatasan karena pencatatan hanya bergantung pada perangkat meter dan tenaga manusia, sehingga rentan terhadap kesalahan serta tidak efisien untuk kebutuhan analisis jangka panjang. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkan sebuah sistem monitoring daya berbasis power meter yang terintegrasi. Data hasil pengukuran kemudian divisualisasikan melalui *human machine interface* (HMI) pada komputer, serta otomatis tersimpan dalam file dokumen digital, sehingga memudahkan analisis dan pengelolaan data energi listrik secara lebih efektif dan akurat [6]. Perkembangan teknologi *internet of things* (IoT) memberikan dampak besar pada bidang, termasuk sistem ketenagalistrikan. Melalui IoT,



pemantauan parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya dapat dilakukan secara *real time*, sehingga mendukung efisiensi energi serta mengurangi risiko kerusakan pada instalasi listrik.

Sebabnya, metode pemantauan konvensional yang masih mengandalkan pemeriksaan manual memerlukan ketepatan dari sisi kecepatan dan akurasi, sehingga diperlukan inovasi berbasis IoT untuk meningkatkan efektivitas pemantauan [7]. Dalam dunia industri, khususnya di PT. X, terdapat target pengendalian konsumsi energi listrik (*energy consumption in electricity*) yang harus dijaga agar tetap efisien dan sesuai dengan rasio pemakaian yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian dan pemantauan penggunaan energi listrik serta output produksi secara terukur. Namun, pada kondisi eksisting, sistem panel belum dilengkapi fitur pemantauan *real-time*, sehingga menyulitkan proses pengawasan dan pencatatan data secara akurat.

Selain mendukung digitalisasi sistem monitoring, penerapan teknologi tersebut juga sejalan dengan implementasi Sistem Manajemen Energi berdasarkan ISO 50001, yang menekankan pentingnya pengukuran, pemantauan, analisis, dan peningkatan kinerja energi secara berkelanjutan melalui siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA). ISO 50001 mengharuskan organisasi untuk memiliki data energi yang akurat, terdokumentasi, dan dapat ditelusuri sebagai dasar dalam mengevaluasi pencapaian sasaran energi, mengidentifikasi peluang penghematan energi, serta melakukan tindakan perbaikan berkelanjutan. Oleh karena itu, keberadaan sistem monitoring energi yang terintegrasi menjadi salah satu elemen penting dalam mendukung implementasi Sistem Manajemen Energi sesuai dengan persyaratan ISO 50001.

Di PT. X, pengendalian konsumsi energi listrik merupakan salah satu indikator kinerja perusahaan yang harus dipertahankan agar sesuai dengan target *Energy Consumption Ratio* yang telah ditetapkan. Untuk mencapai target tersebut, diperlukan sistem pemantauan penggunaan energi listrik dan data produksi yang mampu menyajikan informasi secara akurat, berkelanjutan, dan mudah dianalisis. Namun, pada kondisi eksisting, panel LVMDP belum dilengkapi dengan sistem monitoring berbasis *real-time* maupun sistem pencatatan data otomatis, sehingga proses pengawasan, evaluasi konsumsi energi, serta analisis penyebab pemborosan energi masih mengalami berbagai kendala.

Seiring dengan usia operasional perusahaan yang telah mencapai hampir 10 tahun, khususnya pada sistem kelistrikan di area *power house*, terjadi peningkatan risiko gangguan. Pada tahun 2024, PT. X mengalami kerusakan pada panel distribusi akibat tidak adanya sistem kontrol terhadap beban listrik yang melebihi standar. Hal ini menyebabkan busbar pada panel LVMDP mengalami panas berlebih, *current transformer* meleleh, dan terjadi *short circuit*.

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



Kondisi tersebut diperburuk oleh *Air Circuit Breaker* (ACB) yang mengalami *stuck control*, serta kerusakan pada panel ATS dan trafo akibat konsleting.

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri atas perangkat *power meter* yang terpasang pada *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP). *Power Meter* tersebut berfungsi untuk melakukan pengukuran parameter kelistrikan dengan memanfaatkan *current transformer* (CT) yang terpasang pada busbar panel *low voltage main distribution panel* (LVMDP). Parameter kelistrikan yang diukur meliputi arus listrik (*ampere*), tegangan (*voltage*), beban, dan daya listrik. Data hasil pengukuran dari *power meter* selanjutnya digunakan sebagai data masukan (*input*) kedalam *programmable logic controller* (PLC) untuk dilakukan proses pencatatan dan pengolahan data secara *real-time*. *Programmable logic controller* (PLC) kemudian mengirim data yang telah di proses ke *human machine interface* (HMI) untuk ditampilkan dalam bentuk visualisasi guna memudahkan pemantauan kondisi sistem secara lokal. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan fitur *internet of things* (IoT) yang memungkinkan data kelistrikan dikirimkan secara *online* ke platform pemantauan jarak jauh. Integrasi *internet of things* (IoT) tersebut berfungsi sebagai sistem pemantauan dan pengendalian tambahan yang memungkinkan pengguna untuk melakukan pengawasan kondisi kelistrikan secara *real-time*, serta mendukung deteksi dini terhadap kondisi abnormal maupun potensi malfungsi pada sistem pengendalian kelistrikan. Dengan demikian sistem integrasi *Internet of Things* (IoT) seluruh data kelistrikan dapat dikirimkan secara daring ke platform pemantauan berbasis cloud. Integrasi ini memungkinkan proses pemantauan dilakukan dari mana saja secara *real time*, dilengkapi dengan fitur *early warning* ketika parameter kelistrikan melebihi batas yang telah ditentukan. Dengan tersedianya sistem tersebut, proses pemantauan, pencatatan, analisis, dan evaluasi penggunaan energi menjadi lebih efektif, sistematis, dan terdokumentasi. Informasi yang dihasilkan juga dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam penerapan Sistem Manajemen Energi ISO 50001, khususnya pada proses pemantauan kinerja energi, evaluasi *energy*, identifikasi peluang konservasi energi, serta pelaksanaan perbaikan berkelanjutan melalui pendekatan *Plan-Do-Check-Act* (PDCA). yang dikembangkan mampu meningkatkan efektivitas dan sistematis dalam proses pemantauan, analisis, dan pencatatan kondisi kelistrikan secara menyeluruh di lingkungan pabrik. Berdasarkan hal tersebut, menjadi latar belakang tesis ini dengan judul “ Pengembangan Sistem Monitoring Energi Terintegrasi Edge-HMI-IoT Pada Panel LVMDP Untuk Optimalisasi Sistem Manajemen Energi ISO 50001 Melalui *Early Warning* “

- 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



1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, dapat dikemukakan perumusan masalah,

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring energi pada panel (*Low Voltage Main Distribution Panel*) LVMDP 2 yang terintegrasi antara perangkat ukur, (*Human Machine Interface*) HMI, dan platform (*Internet of Things*) IoT sehingga mampu menampilkan parameter kelistrikan secara *real-time* dan terdokumentasi secara historis?
2. Bagaimana mengembangkan sistem monitoring berbasis efektivitas sistem monitoring berbasis (*Human Machine Interface*) HMI dan (*Internet of Things*) IoT yang mampu mendeteksi ketidakseimbangan beban, anomali konsumsi energi, serta memberikan notifikasi dini untuk mendukung optimalisasi manajemen energi ?
3. Seberapa besar peningkatan efektivitas manajemen energi berdasarkan Sistem Manajemen Energi ISO 50001 implementasi sistem monitoring energi berbasis Edge-HMI-IoT pada panel LVMDP dibandingkan sistem monitoring konvensional ? Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah, adapun tujuan dari tesis sebagai berikut :

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring energi pada panel *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP) yang terintegrasi antara perangkat ukur, *Human Machine Interface* (HMI), dan platform *Internet of Things* (IoT) sehingga mampu menampilkan parameter kelistrikan secara *real time* serta menyimpan data historis secara terdokumentasi.
2. Menganalisis dan mengevaluasi kinerja sistem monitoring energi terintegrasi dalam mendeteksi ketidakseimbangan beban, anomali, konsumsi energi, serta memberikan *early warning* terhadap kondisi *abnormal* pada sistem kelistrikan.

1.3 Manfaat Penelitian

a. Manfaat bagi Mahasiswa

Dengan adanya alat ini, mahasiswa diharapkan :

1. Memperoleh pengalaman akademik dan praktis dalam merancang, mengembangkan, dan mengimplementasikan sistem monitoring energi terintegrasi berbasis Edge-HMI-IoT
2. Mengembangkan kemampuan analisis data kelistrikan secara *real time* dan historis sebagai dasar evaluasi kinerja energi, sekaligus melatih kemampuan *problem solving* dalam mengidentifikasi ketidakseimbangan beban dan *anomali* konsumsi energi.

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



Manfaat bagi Perusahaan

Adapun manfaat bagi perusahaan adalah :

1. Membantu PT. X meningkatkan efektivitas manajemen energi melalui sistem monitoring terintegrasi yang mampu menampilkan parameter kelistrikan secara *real time* dan terdokumentasi dengan baik.
2. Mendukung pengambilan keputusan berbasis data melalui deteksi dini ketidakseimbangan beban dan anomali konsumsi energi, sehingga dapat menekan potensi kerugian, meningkatkan efisiensi operasional, dan mengurangi risiko gangguan sistem kelistrikan.

1.4 Batasan Masalah

Agar ruang lingkup pembahasan tesis ini terarah serta tidak melebar, maka penulisan membatasi permasalahan yang di maksud. Batasan masalah yang dimaksud adalah :

1. Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi Sistem Monitoring Energi Terintegrasi Edge-HMI-IoT pada panel LVMDP di PT. X untuk Optimalisasi Sistem Manajemen Energi ISO50001 melalui *Early Warning*
2. Sistem yang disajikan hanya berupa pengumpulan, pengiriman, dan penyajian data energi secara *real time*, tanpa mencakup fungsi kendali. Parameter yang di kontrol daya listrik (kWh), tegangan (*voltage*), arus (*ampere*), beban (*watt*), dan faktor daya (*power factor*)

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

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

BAB V PENUTUP

kesimpulan

1. Sistem monitoring energi berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan mengintegrasikan Power Meter Schneider Logic PM5350, PLC Haiwell, *Human Machine Interface* (HMI), dan platform *Internet of Things* (IoT). Sistem mampu menampilkan parameter kelistrikan meliputi tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, faktor daya, frekuensi, dan energi listrik secara *real time*, serta menyimpan data *historis* secara terdokumentasi. Berdasarkan hasil pengujian *fungsi*ional, seluruh fitur utama sistem dapat beroperasi sesuai rancangan sehingga mendukung proses monitoring energi yang lebih cepat, akurat, dan terdokumentasi dibandingkan metode pencatatan manual. Pengembangan sistem monitoring energi terintegrasi Edge-HMI-IoT pada panel LVMDP untuk optimalisasi manajemen energi ISO 50001 melalui *early warning* terbukti efektif dalam mendeteksi anomali konsumsi energi, kondisi faktor daya yang tidak sesuai standar. Serta memberikan informasi dan notifikasi dini untuk meningkatkan efektivitas manajemen energi dibandingkan metode monitoring konvensional melalui pengasan yang lebih teratur. Pengambilan keputusan yang lebih cepat, dan peningkatan efisiensi penggunaan energi listrik.
2. Hasil analisis dan evaluasi menunjukkan bahwa pengembangan sistem monitoring energi terintegrasi pada panel LVMDP untuk optimalisasi manajemen energi ISO 50001 melalui *early warning* berhasil meningkatkan efektivitas pemantauan kondisi kelistrikan dibandingkan sistem monitoring konvensional yang masih mengandalkan pencatatan manual pada waktu tertentu. Sistem yang dikembangkan mampu melakukan monitoring secara *real time*, menyimpan data historis secara otomatis, serta menyediakan fitur *early warning* pada parameter tegangan (*voltage*) dan arus (*ampere*) sehingga kondisi abnormal dapat diketahui lebih cepat dan tindakan korektif dapat segera dilakukan. Hasil *functional testing* menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi pembacaan yang sangat baik, dengan rata-rata nilai kesalahan sebesar 0,02% untuk arus, 0,27% untuk tegangan, 0,03% untuk *Active Power*, 0,01% untuk *Reactive Power*, 0,02% untuk *kVA*, 0,57% untuk *Power Factor*, 0,02% untuk frekuensi, dan 0,01% untuk energi (*kWh*). Melalui evaluasi menggunakan metode *Plan-Do-Check-Action* (PDCA), sistem berhasil mengidentifikasi anomali pada parameter *Voltage Vcn*, *Active Power Pb* dan *Pc*, *Reactive Power Qc*, serta *kVA Sc*, sehingga dapat dilakukan

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

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

inspeksi terhadap instalasi *wiring* dan *current transformer* (CT) sebagai bagian dari *corrective action* dan *preventive action*. Dibandingkan dengan sistem monitoring konvensional yang tidak mampu memberikan informasi secara berkelanjutan maupun peringatan dini, sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi penyimpangan parameter kelistrikan secara lebih cepat, meningkatkan keandalan proses monitoring, serta menyediakan data yang lebih akurat sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan energi. Hasil analisis statistik deskriptif menggunakan Minitab® 22 menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu merekam parameter kelistrikan secara stabil dan akurat. Parameter arus rata-rata memiliki nilai mean 2218,16 A dengan *range* 432 A, yang menunjukkan adanya variasi beban listrik selama pengamatan namun masih dalam kondisi operasional normal. Parameter tegangan rata-rata memiliki *mean* 153,503 V dengan *range* 1 V, sedangkan frekuensi memiliki *mean* 50 Hz dengan *range* 0 Hz, yang menunjukkan kestabilan tegangan dan frekuensi selama proses monitoring. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa sistem mampu menyediakan data yang andal untuk mengevaluasi performa dan kondisi operasi kelistrikan. Selain itu, hasil pengujian komunikasi data menunjukkan nilai *delay* sebesar 48,27 ms. Berdasarkan standar *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON), nilai tersebut termasuk dalam kategori Sangat Baik (<150 ms). Hasil ini menunjukkan bahwa komunikasi data dari PLC *Haiwell* menuju *Haiwell Cloud* berlangsung cepat dan stabil sehingga mendukung proses monitoring *real time* serta fungsi *early warning* secara efektif. Implementasi sistem juga memberikan dampak terhadap peningkatan kinerja manajemen energi, yang ditunjukkan oleh penurunan *Rasio Energy Consumption* dari 57,42 menjadi 49,34 atau sebesar 14,07%, serta penurunan biaya pemakaian energi listrik sekitar 4,97%. Dengan demikian, sistem monitoring energi berbasis Edge-HMI-IoT terbukti mampu mengoptimalkan proses monitoring, meningkatkan efektivitas penerapan program konservasi energi, serta mendukung implementasi *Energy Management System* (EnMS) secara lebih efektif dan berkelanjutan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan selama pelaksanaan terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:



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

1. Pada penelitian selanjutnya, sistem dapat dikembangkan menjadi sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) kontrol yang mengintegrasikan empat panel LVMDP ke dalam satu pusat pengendalian (*centralized control*). Pengembangan ini diharapkan mampu mempermudah proses pemantauan, identifikasi, dan penanganan gangguan secara cepat apabila terjadi pembacaan parameter yang *abnormal* atau *malfungsi* pada salah satu perangkat monitoring.
2. Sistem penyimpanan data dapat dikembangkan dengan kapasitas yang lebih besar sehingga mampu mendukung penyimpanan data historis dalam jangka panjang. Selain itu, sistem dapat dilengkapi dengan fitur pembuatan laporan (*reporting*) secara otomatis dalam format PDF untuk mempermudah proses dokumentasi dan analisis.
3. Pengujian sistem pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan alat ukur standar, seperti *Power Quality Analyzer*, sebagai pembanding terhadap hasil pembacaan sistem. Validasi ini diharapkan dapat meningkatkan tingkat akurasi, keandalan, dan kredibilitas hasil pengukuran pada setiap parameter kelistrikan.
4. Aspek keselamatan (*safety*) dan pemeliharaan (*maintenance*) perlu menjadi fokus pengembangan berikutnya. Sistem yang dikembangkan saat ini masih berfokus pada pemantauan parameter kelistrikan dan fitur *early warning*. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat menambahkan fungsi pemantauan tahanan (*grounding resistance*), kondisi proteksi panel, serta penyediaan backup daya (*Power Supply Unit/PSU*) agar sistem tetap beroperasi ketika terjadi gangguan atau *trip* pada sumber daya utama.
5. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem hingga tingkat subpanel LVMDP dengan melakukan pemantauan terhadap masing-masing beban. Pengembangan ini diharapkan mampu memberikan analisis yang lebih rinci mengenai pola konsumsi energi, mengidentifikasi beban yang signifikan, serta mendukung optimalisasi manajemen energi secara lebih efektif



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alidarma, C. (2023). Capstone Project Desain Solar Tree Untuk Penerangan Jalan Umum di Jalan Bypass Prof. Dr. Ida Bagus Mantra Provinsi Bali. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha*, 12(1), 98-113.
- [2] I. S. Al Amin, “STUDI KEMAMPUAN PANEL LVMDP TERHADAP PEMBEBANAN,” *JA*, vol. 3, no. 1, p. 140, Jun. 2018, doi: [10.31851/ampere.v3i1.2115](https://doi.org/10.31851/ampere.v3i1.2115).
- [3] Nanda Dwi Septiawan, Abdul Manab, Andre Rabiula, and Dasrinal Tessal, “Analisis Kualitas Daya Listrik Di Gedung A Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Jambi,” *jusiik-widyakarya*, vol. 2, no. 1, pp. 37–48, Dec. 2023, doi: [10.59581/jusiik-widyakarya.v2i1.2197](https://doi.org/10.59581/jusiik-widyakarya.v2i1.2197).
- [4] Kartika, K., & Misriana, M. (2018). Sistem Monitoring Transformator Distribusi Berbasis XBeePro. *JURNAL LITEK: Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, 15(2), 29-37.
- [5] V. Arraza and A. Triyanto, “RANCANG BANGUN PANEL MIMIC MVMDB DAN LVMDDB DI MENARA BCA,” vol. 6, no. 1, 2025.
- [6] Dani Febrianto, Lilik Subiyanto, Mohammad Basuki Rahmat, and Purwidi Asri, “SISTEM MONITORING POWER METER ANTARA HMI DENGAN DATABASE SERVER PADA PABRIK GULA,” *7samudra*, vol. 6, no. 1, Sep. 2022, doi: [10.54992/7samudra.v6i1.104](https://doi.org/10.54992/7samudra.v6i1.104).
- [7] Zilham, A., & Gunawan, R. (2024). Potensi IoT dalam industri 4.0. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(2), 1932-1940.
- [8] Pereira, R., Figueiredo, J., Melicio, R., Mendes, V. M. F., Martins, J., & Quadrado, J. C. (2015). *Consumer energy management system with integration of smart meters. Energy Reports*, 1, 22-29.
- [9] Saleem, M. U., Usman, M. R., & Shakir, M. (2021). *Design, implementation, and deployment of an IoT based smart energy management system. Ieee Access*, 9, 59649-59664.
- [10] Kadhim, A. A., Badri, A. B., Mohammed, M. S., & Saleh, A. H. (2024). *IoT-Based Energy Meter for Remote Monitoring and Managements of Power Consumption. International Journal of Electrical and Electronics Research*, 12(4), 1427-1439.
- [11] Godase, V. (2025). *Smart energy management in manufacturing plants using PLC and SCADA. Advance Research in Power Electronics and Devices*, 2(2), 14-24.
- [12] G. Kumbhar, T. Pisal, A. Shinde, and R. Joshi, “Energy Management System using PLC,” *SMSJ*, vol. 17, no. 01, pp. 7–10, Mar. 2025, doi: [10.18090/samriddhi.v17i01.02](https://doi.org/10.18090/samriddhi.v17i01.02).
- [13] Irvani, A. I., Inayah, I., Rohfadli, M., Alkadri, Y., Roihan, M., Andaria, A. C., ... & Hanam, E. S. (2025). *Dasar-Dasar Elektronika*. MEGA PRESS NUSANTARA.

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



[14] METER, P. P. K., & HANDOYOSURYO, A. B. (2025). ANALISIS PENGARUH HARMONISA DAN FAKTOR DAYA.

[15] Electric, “PowerLogic™ PM5500 / PM5600 / PM5350 series User manual”.

[16] Susanto, A. (2017). Modul Programmable Logic Controller (PLC) Berbasis Arduino. *Evening No. Jurnal Edukasi Elektro*, 1(2).

[17] Muzakir, A. (2023). *Sistem Monitoring Daya Listrik Internet Of Things (Iot) Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic Sugeno dan Firebase Berbasis Android* (Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).

[18] M. Zuhri and H. Okselia, “RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAYA LISTRIK BERBASIS IOT”.

[19] International Organization for Standardization, *ISO 50001:2018, Energy Management Systems—Requirements with Guidance for Use*, 2nd ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2018.

[20] Erfan, M., Mappalotteng, A. M., & Mappedase, M. Y. (2025). Sistem Early Warning Deteksi Malfungsi pada Motor Listrik 3 Fasa Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Lora Terintegrasi Scada. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 14(1), 90-102.

[21] International Electrotechnical Commission, *IEC 60909-0:2016, Short-circuit Currents in Three-phase a.c. Systems – Part 0: Calculation of Currents*, 2nd ed. Geneva, Switzerland: IEC, 2016

[22] PT PLN (Persero), *SPLN T6.001:2013 – Tegangan-Tegangan Standar*. Jakarta: PT PLN (Persero), 2013

[23] Febiharsa, D., Sudana, I. M., & Hudallah, N. (2018). Uji fungsionalitas (blackbox testing) sistem informasi lembaga sertifikasi profesi (silsp) batik dengan appperfect web test dan uji pengguna. *Joined Journal (Journal of Informatics Education)*, 1(2), 117-126.

[24] Ihromi, F. H. (2019). *Ekstraksi Informasi Dokumen Karya Tulis Ilmiah Menggunakan Algoritma Convolutional Neural Network* (Doctoral dissertation, Universitas Komputer Indonesia).

[25] Mineraud, J., Mazhelis, O., Su, X., & Tarkoma, S. (2016). Analisis kesenjangan platform Internet of Things. *Komunikasi Komputer*, 89, 5-16.

[26] Laporan MOR *Energy consumption*

[27] “Google Earth,” Google, [Online]. Available: <https://earth.google.com/web/@-6.76971054,107.24581667,258.6912199a,1441.46292817d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBMi kKJwoICiExSzVPWk1jdWhLcFNGREIZQ21vS0FYSW1qWDJLSVJZZ3IgAToDCgEwQgI IAEoICM6u16IGEAE>. [Accessed: 05-Oct-2025]

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



© Hak Cipta Milik Politeknik Negeri Jakarta

[28] “Panel LVMDP,” *IndustryShop.id*. [Online]. Available: <https://www.industryshop.id/portofolio/panel-lvmdp/>. [Accessed: 17-Sep-2025]

[29] “5 Things You Should Consider When Choosing a Power Meter,” *Automation World*, Apr. 2015. [Online]. Available: <https://www.automationworld.com/home/news/13313550/3-things-you-should-consider-when-choosing-a-power-meter>. [Accessed: 17-Sep-2025].

[30] “TM100C16RN - Controller M100 - 9I/7O relay - 220VAC,” *Schneider Electric Indonesia*. [Online]. Available: <https://www.se.com/id/id/product/TM100C16RN/controller-m100-9i-7o-relay-220vac/> [Accessed: 17-Sep-2025].

[31] “Human-Machine Interface (HMI) Products,” *GIC India*. [Online]. Available: <https://www.gicindia.com/product-category/human-machine-interface-hmi/> [Accessed: 17-Sep-2025].

[32] “Cloud Platform for Power IoT,” *Acrel Co., Ltd.* [Online]. Available: <https://acrel-electric.id/cloud-platform-for-power-iot.html> [Accessed: 17-Sep-2025].

[33] Lawrence, A., Thollander, P., Andrei, M., & Karlsson, M. (2019). Specific energy consumption/use (SEC) in energy management for improving energy efficiency in industry: Meaning, usage and differences. *Energies*, 12(2), 247.

[34] PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). (2026). *Rincian rekening listrik pelanggan* (Dokumen internal). Jakarta: PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)

[35] PT X, *Data kWh Meter LVMDP-2 Periode Januari–Maret 2026*, Dokumen Internal Perusahaan, 2026.

[36] PT X, *Data LVMDP PT. X Periode Januari–Maret 2026*, Dokumen Internal Perusahaan, 2026.

[36] Badan Standardisasi Nasional, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)*, SNI 0225:2011. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2011

[37] Rahayu, A. (2025). Metode penelitian dan pengembangan (R&D): Pengertian, jenis dan tahapan. *DIAJAR: Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran*, 4(3), 459-470.

[38] Doebelin, E. O., & Manik, D. N. (2007). *Measurement systems: application and design*.

[39] Schneider Electric, *MasterPacT MTZ3 Active Circuit Breaker, Model MTZ350_H12E3PMFHH, Product Datasheet*, Schneider Electric, Rueil-Malmaison, France. [Online]. Available: [Schneider Electric Documentation](#). Accessed: Jul. 15, 2026.

[40] Sethi, P., & Sarangi, SR (2017). Internet of things: arsitektur, protokol, dan aplikasi. *Jurnal teknik elektro dan komputer*, 2017 (1), 9324035.

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