



Institut Teknologi Nasional Malang

SKRIPSI – TEKNIK ENERGI LISTRIK

PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL DAN NOTIFIKASI REAL-TIME MENGGUNAKAN SCADA PADA PENGGUNAAN AC DAN LAMPU DIRUANGAN GEDUNG LABORATORIUM ELEKTRO

Arya Dwi Saputra
NIM 2212027

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT.
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
2026



Institut Teknologi Nasional Malang

SKRIPSI – TEKNIK ENERGI LISTRIK

**PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL DAN
NOTIFIKASI REAL TIME MENGGUNAKAN SCADA
PADA PENGGUNAAN AC DAN LAMPU
DIRUANGAN GEDUNG LABORATORIUM
ELEKTRO**

Arya Dwi Saputra
NIM 2212027

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT.
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
2026

**PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL DAN
NOTIFIKASI REAL TIME MENGGUNAKAN SCADA
PADA PENGGUNAAN AC DAN LAMPU
DIRUANGAN GEDUNG LABORATORIUM
ELEKTRO**

SKRIPSI

**Arya Dwi Saputra
2212027**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Program Studi Teknik Energi Listrik
Institut Teknologi Nasional Malang

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof.Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT.
NIP. Y. 1030800417

Dr. Irlina Budi Sulistawati, ST.MT.
NIP. 19770615 200501 2 002

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1

Dr. Irmalia Suryani Faradisa, ST., MT.
NIP. P. 1030000365

MALANG
Juli, 2026



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karangrejo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Arya Dwi Saputra
NIM : 2212027
Program Studi : Teknik Elektro S-1
Peminatan : Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Genap 2025/2026
Judul Skripsi : Pengembangan Sistem Kontrol Dan Notifikasi Real-Time Menggunakan Scada Pada Penggunaan AC Dan Lampu Diruangan Gedung Laboratorium Elektro

Diperlihatkan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada:

Hari : Jum'at

Tanggal : 17 Juli 2026

Nilai : **86,50%**

Majelis Penguji

Ketua

Prof. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT.

NIP. Y. 1030800417

Anggota Penguji

Penguji I

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE., IPU., ASEAN.Eng.

NIP. Y. 1018500108

Penguji II

Ir. Ni Putu Agustini, ST., MT

NIP. Y. 1030100371

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL DAN NOTIFIKASI REAL TIME MENGGUNAKAN SCADA PADA PENGGUNAAN AC DAN LAMPU DIRUANGAN GEDUNG LABORATORIUM ELEKTRO

Arya Dwi Saputra, NIM : 2212027

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, St., MT.

Dosen Pembimbing II : Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT.

Gedung laboratorium Jurusan Teknik Elektro ITN Malang menggunakan sistem pendingin udara (AC) dan lampu penerangan yang sebagian besar masih dioperasikan secara manual, sehingga sering terjadi pemborosan energi listrik akibat perangkat yang tetap menyala meskipun ruangan tidak digunakan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol dan notifikasi real-time menggunakan SCADA untuk mengoptimalkan penggunaan AC dan lampu pada empat zona ruangan, yaitu Laboratorium Otomasi Industri, Ruang S-2, Ruang Kaprodi, dan Laboratorium Robotika & Sekretariat. Sistem dirancang menggunakan PLC Outseal untuk kontrol AC berbasis jadwal waktu, platform SCADA Haiwell untuk monitoring dan notifikasi real-time melalui BAS HMI, serta sensor CO₂ untuk memantau tingkat okupansi ruangan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan konsumsi energi sebelum dan sesudah penerapan sistem. Hasil pengujian menunjukkan sistem notifikasi berhasil mengirimkan 100% notifikasi perubahan status perangkat dengan rata-rata delay 60–62 detik. Penerapan sistem BAS-SCADA menurunkan konsumsi energi AC sebesar 599,874 kWh (55,50%), dari 1.080,951 kWh menjadi 481,077 kWh, serta menurunkan konsumsi energi lampu sebesar 15,714 kWh (35,71%), dari 44,000 kWh menjadi 28,286 kWh. Secara keseluruhan, total penghematan energi mencapai 615,589 kWh atau 54,72%. Sistem pemantauan CO₂ juga berhasil bekerja secara real-time dengan rata-rata kadar 583,8 ppm, serta mampu mendeteksi perbedaan tingkat hunian ruangan berdasarkan waktu. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan terbukti efektif mendukung efisiensi energi dan dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan untuk program konservasi energi di gedung laboratorium.

Kata Kunci: SCADA, PLC Outseal, BAS, efisiensi energi, notifikasi real-time, sensor CO₂.

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL DAN NOTIFIKASI REAL TIME MENGGUNAKAN SCADA PADA PENGGUNAAN AC DAN LAMPU DIRUANGAN GEDUNG LABORATORIUM ELEKTRO

Arya Dwi Saputra, NIM : 2212027

Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, St., MT.

Dosen Pembimbing II : Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT.

The laboratory building of the Electrical Engineering Department at ITN Malang uses air conditioning (AC) units and lighting that are mostly operated manually, often causing wasted electrical energy when devices remain on even though the room is unoccupied. This study aims to design and implement a real-time control and notification system using SCADA to optimize the use of AC units and lighting in four room zones: the Industrial Automation Laboratory, Room S-2, the Head of Study Program's Room, and the Robotics & Secretariat Laboratory. The system was designed using an Outseal PLC for schedule-based AC control, the Haiwell SCADA platform for real-time monitoring and notification via BAS HMI, and a CO₂ sensor to monitor room occupancy levels. Testing was carried out by comparing energy consumption before and after the system's implementation. The results show that the notification system successfully delivered 100% of device status change notifications with an average delay of 60–62 seconds. Implementation of the BAS-SCADA system reduced AC energy consumption by 599.874 kWh (55.50%), from 1,080.951 kWh to 481.077 kWh, and reduced lighting energy consumption by 15.714 kWh (35.71%), from 44.000 kWh to 28.286 kWh. Overall, total energy savings reached 615.589 kWh, or 54.72%. The CO₂ monitoring system also operated successfully in real time with an average concentration of 583.8 ppm, and was able to detect differences in room occupancy levels based on time. The developed system has thus proven effective in supporting energy efficiency and can serve as a basis for decision-making in energy conservation programs for laboratory buildings.

Keywords: *SCADA, Outseal PLC, BAS, energy efficiency, real-time notification, CO₂ sensor.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas karunia kuasaNya, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, ITN Malang. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih memiliki kekurangan. Karenanya, penulis mengharapkan kritik mengharapdan saran yang membangun dalam rangka pembelajaran terus-menerus. Banyak pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing 1 yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran.
2. Ibu Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST, MT. selaku Dosen Pembimbing 2 yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran.
3. Ibu Dr. Irmalia Suryani Faradisa, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Elektro ITN Malang
4. Bapak dan Ibu Dosen Elektro S1 yang senantiasa membantu setiap kesulitan yang penulis temui.
5. Kedua orang tua atas cinta dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Dan semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini, namun tidak dapat disebutkan satu persatu. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat yang seluas-luasnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Panjang umur perjuangan, panjang umur pengetahuan.

Malang, Juli 2026

Penulis

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arya Dwi Saputra
NIM : 2212027
Jurusan / Peminatan : Teknik Elektro/Energi Listrik
ID KTP / Paspor : 3517142603020001
Alamat : Dusun Tanggungan, RT/RW 002/003 Desa
TanggungKramat, Kec. Ploso, Kab. Jombang
Judul Skripsi : Pengembangan Sistem Kontrol Dan
Notifikasi Real-Time Menggunakan Scada
Pada Penggunaan AC Dan Lampu Diruangan
Gedung Laboratorium Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat merupakan hasil karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain kecuali dicantumkan sumber yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 29 Juli 2026

Yang Membuat Pernyataan



Arya Dwi Saputra

NIM. 2212027

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Daya Listrik.....	8
2.3 Manajemen Energi	9
2.4 Building Automation System (BAS)	10
2.5 Sistem Okupansi.....	11
2.6 Sensor PIR.....	11
2.7 Sensor PIR.....	12
2.8 ESP32	13
2.9 Modul Elfin EW11	13
2.10 SCADA	14
2.11 Software Haiwell Scada Designer.....	15
2.12 HMI Haiwell	15
2.13 Modbus.....	16
2.14 Power supply	18
2.15 Lora Long Range (LoRa)	18
2.16 PLC Outseal	19
2.17 Relay	21
2.18 Kontaktor.....	21
2.19 Sensor PZEM-004T	22
2.20 TTL To RS485	23
2.21 Internet of Things (IoT).....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Survey Kondisi Eksisting.....	25
3.1.1 Jalur Wiring Outlet Daya Pada Panel Di Setiap Ruangan ...	25
3.1.2 Pembebanan Outlet Daya AC Gedung Elektro Lantai 2.....	28
3.1.3 Peralatan Yang Telah Terpasang Gedung Elektro Lantai 2..	28

3.1.4 BAS HMI Ruang Laboratorium Otomasi dan Ruang S-2 ...	30
3.1.5 BAS HMI Ruang Program Studi	31
3.1.6 Panel Kontrol Lampu.....	32
3.1.7 Panel Sensor Outlet Daya Pada Gedung Elektro Lantai 2...	34
3.2 Validasi Peralatan	35
3.3 Blok Diagram Sistem	36
3.3.1 Diagram Blok Sistem Monitoring Daya Listrik	36
3.3.2 Topologi Jaringan Sistem.....	37
3.3.3 Cara Kerja Sistem	39
3.4 Perancangan Sistem Keseluruhan	39
3.5 Blok Diagram Sistem Jaringan.....	40
3.5.1 Diagram PLC Outseal 1 & PLC Outseal 2	41
3.5.2 Diagram PLC Outseal 3	42
3.5.3 Protokol Komunikasi	42
3.5.4 Alur Kerja Keseluruhan Sistem Jaringan.....	43
3.6 Perancangan Layout Panel Daya AC	44
3.7 Cara Kerja Sistem Secara Keseluruhan.....	46
3.8 Perancangan Perangkat Lunak SCADA.....	47
3.8.1 Rancangan Tampilan SCADA BAS HMI 1	47
3.8.2 Rancangan Tampilan SCADA BAS HMI 2	50
3.8.3 Konfigurasi Sistem SCADA	52
3.9 Flowchart Sistem.....	54
3.9.1 Flowchart Kontrol AC Berbasis Sensor PIR dan Waktu	54
3.9.2 Flowchart Algoritma Notifikasi Penggunaan Energi.....	56
3.9.3 Flowchart Penentuan Status Okupansi Berbasis Sensor CO ₂	58
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	63
4.1 Sistem Monitoring.....	63
4.2 Tampilan Alat dan Implementasi Sistem.....	63
4.2.1 Panel Kontrol Daya AC	64
4.3 Implementasi Sistem SCADA HMI-1	66
4.3.1 Penginputan Device Interface	66
4.3.2 Penginputan Register Address	68
4.3.3 Konfigurasi Event dan Penjadwalan Otomatis	69
4.3.4 Penginputan Program Task Script di Event	71
4.4 Implementasi Sistem SCADA HMI-2.....	71
4.4.1 Penginputan Device Interface	71
4.4.2 Penginputan Parameter Register Address	73
4.4.3 Penginputan Program Task Script di Event HMI-2	74

4.5 Implementasi Perancangan Software SCADA HMI-1.....	75
4.6 Implementasi Perancangan Software SCADA HMI-2.....	78
4.7 Metode Perhitungan Energi Listrik.....	81
4.7.1 Perhitungan Energi (kWh).....	81
4.7.2 Perhitungan Total Energi Bulanan.....	81
4.7.3 Perhitungan Daya Rata-rata Per Jam.....	81
4.7.4 Perhitungan Konversi Energi Listrik (kWh) ke Emisi CO ₂	81
4.8 Hasil Pengukuran Kondisi Sebelum Penerapan BAS.....	82
4.8.1 Rata-rata Daya Per Jam Sebelum Penerapan.....	82
4.8.2 Perhitungan Total Energi Kondisi Sebelum Penerapan.....	84
4.8.3 Analisis Pola Konsumsi Energi Kondisi Sebelum Penerapan.....	84
4.8.4 Grafik Rata-rata Daya Per-Jam Kondisi Sebelum Penerapan BAS.....	85
4.9 Hasil Pengukuran Kondisi Setelah Penerapan BAS.....	86
4.9.1 Rata-rata Daya Per Jam Kondisi Sesudah Penerapan.....	86
4.9.2 Perhitungan Total Energi Kondisi Sesudah Penerapan.....	87
4.9.3 Analisis Pola Konsumsi Energi Kondisi Sesudah Penerapan.....	88
4.9.4 Grafik Rata-rata Daya Per Jam Kondisi Sesudah Penerapan.....	89
4.10 Perbandingan Konsumsi Energi Sesudah dan Sebelum Penjadwalan.....	90
4.10.1 Perhitungan Selisih dan Persentase Penurunan.....	90
4.10.2 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah Per Ruangan.....	91
4.11 Hasil Pengukuran Sistem Pencahayaan (Lampu) Kondisi Sebelum Penerapan BAS.....	94
4.11.1 Rata-rata Daya Per Jam - Kondisi Sebelum Penerapan BAS.....	94
4.11.2 Perhitungan Total Energi Kondisi Sebelum Penerapan.....	95
4.11.3 Analisis Pola Konsumsi Energi Kondisi Sebelum Penerapan BAS.....	96
4.11.4 Grafik Rata-rata Daya Per Jam Kondisi Sebelum Penerapan.....	97
4.12 Hasil Pengukuran Sistem Pencahayaan (Lampu) Kondisi Sesudah Penerapan.....	98
4.12.1 Rata-rata Daya Per Jam Kondisi Sesudah Penerapan BAS.....	98
4.12.2 Perhitungan Total Energi - Kondisi Sesudah.....	100
4.12.3 Analisis Pola Konsumsi Energi Kondisi Sesudah.....	101

4.12.4 Grafik Rata-rata Daya Per Jam Kondisi Sesudah Penerapan BAS.....	101
4.12.5 Grafik Gabungan HMI 2 Rata-rata Daya Per Jam Kondisi Sebelum dan Sesudah Penerapan.....	103
4.12.6 Gabungan HMI 1 Rata-rata Daya Per Jam Kondisi Sebelum dan Sesudah	105
4.13 Perbandingan Konsumsi Energi Lampu Sebelum Dan Sesudah Penerapan	108
4.13.1 Perhitungan Selisih dan Persentase Penurunan	108
4.13.2 Grafik Perbandingan Konsumsi Energi	110
4.14 Rekapitulasi Gabungan Konsumsi Energi Lampu dan AC	112
4.15 Hasil Pengukuran Kadar CO ₂	113
4.15.1 Statistik Deskriptif Keseluruhan.....	113
4.16 Statistik CO ₂ Per Hari	114
4.17 Pola Kadar CO ₂ dalam 24 Jam	116
4.18 Distribusi Status Okupansi dan Pengaturan Suhu AC.....	118
4.19 Analisis Kinerja Sistem Kontrol Otomatis	119
4.19.1 Perbandingan Kadar CO ₂ Jam Aktif dan Non Aktif	119
4.19.2 Analisis Kondisi CO ₂ Berbahaya (> 1000 ppm).....	120
4.20 Pembahasan.....	121
4.20.1 Efektivitas Penerapan Sistem BAS.....	121
4.20.2 Efisiensi Energi melalui Kontrol Adaptif	122
4.20.3 Kualitas Udara dan Kenyamanan Pengguna.....	122
4.21 Pengujian Notifikasi AC dan Lampu pada Sistem Monitoring dan Kontrol Berbasis IoT	122
4.21.1 Pengujian BAS HMI 1	122
4.21.2 Pengujian BAS HMI 2	124
4.21.3 Analisis Hasil Pengujian Notifikasi	126
4.22 Keterbatasan Sistem dan Rekomendasi	126
4.23 Ringkasan Hasil dan Pembahasan.....	127
4.24 Kesimpulan Analisis Data	128
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	129
5.1 Kesimpulan	129
5.2 Saran.....	130
DAFTAR PUSTAKA	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Segitiga Daya.....	9
Gambar 2. 2 Hubungan ketiga Konsep Manajemen Energi.....	10
Gambar 2. 3 Building Automation System.....	10
Gambar 2. 4 Prinsip BAS	11
Gambar 2. 5 Blok Diagram Sensor PIR.....	11
Gambar 2. 6 Sensor PIR.....	12
Gambar 2. 7 Sensor MG811	13
Gambar 2. 8 ESP32	13
Gambar 2. 9 Modul Elfin EW11.....	14
Gambar 2. 10 Software Scada Designer.....	15
Gambar 2. 11 HMI Haiwell	16
Gambar 2. 12 Proses transaksi data perangkat master dan slave.....	17
Gambar 2. 13 Power Supply	18
Gambar 2. 14 Ilustrasi Arsitektur Jaringan LoRa.....	19
Gambar 2. 15 Blok Diagram PLC	19
Gambar 2. 16 PLC Outseal Nano V5.2.....	20
Gambar 2. 17 Cara Kerja Saklar Relay.....	21
Gambar 2. 18 Bentuk fisik dari kontaktor	22
Gambar 2. 19 Sensor PZEM-004T	23
Gambar 2. 20 TTL to RS485	23
Gambar 2. 21 Arsitektur Dasar IoT	24
Gambar 3. 1 Panel Daya Laboratorium Otomasi	25
Gambar 3. 2 Panel Daya Ruang S-2	26
Gambar 3. 3 Panel Daya Ruang Robotika.....	27
Gambar 3. 4 HMI Haiwell Ruang Laboratorium Otomasi dan Ruang S-2	30
Gambar 3. 5 Tampilan Utama Ruang Laboratorium Otomasi dan Ruang S-2.....	30
Gambar 3. 6 Tampilan Detail Monitoring Ruang Laboratorium Otomasi	31
Gambar 3. 7 HMI Haiwell Ruang Program Studi	31
Gambar 3. 8 Tampilan Layar HMI Ruang Program Studi.....	32
Gambar 3. 9 Panel Kontrol Lampu BAS HMI-1	32
Gambar 3. 10 Panel Kontrol Lampu BAS HMI-2.....	33
Gambar 3. 11 Panel Outlet Laboratorium Otomasi	34
Gambar 3. 12 Panel Outlet Ruang S-2	34
Gambar 3. 13 Panel Outlet Lab. Robotika.....	35

Gambar 3. 14 Diagram Blok Subsistem Monitoring Daya Listrik.....	37
Gambar 3. 15 Topologi Jaringan Sistem Monitoring dan Pengendalian Energi.....	38
Gambar 3. 16 Diagram Blok Sistem Keseluruhan	40
Gambar 3. 17 Diagram Jaringan PLC Outseal 1 & 2	41
Gambar 3. 18 Diagram Jaringan PLC Outseal 3	42
Gambar 3. 19 Rancangan Layout Panel Daya AC.....	44
Gambar 3. 20 Tampilan Halaman Utama SCADA.....	47
Gambar 3. 21 Tampilan Monitoring Daya Lab Otomasi.....	47
Gambar 3. 22 Tampilan Data Historis Sensor Okupansi.....	48
Gambar 3. 23 Historical Data Sensor Okupansi.....	48
Gambar 3. 24 Historical Data Outlat Okupansi.....	49
Gambar 3. 25 Historical Data Pemakaian Daya Outlet	49
Gambar 3. 26 Historical Daya Ruang S-2 & Pantri	50
Gambar 3. 27 Historical Data Pemakaian Daya Lampu.....	50
Gambar 3. 28 Tampilan SCADA BAS HMI 2	50
Gambar 3. 29 Historical Data Status Komunikasi Ruang Prodi.....	51
Gambar 3. 30 Historical Data Pemakaian Daya Outlat	51
Gambar 3. 31 Historical Data Pemakaian Daya Lampu.....	52
Gambar 3. 32 Flowchart Kontrol AC Berbasis Sensor PIR dan Waktu	55
Gambar 3. 33 Flowchart Algoritma Notifikasi Pemborosan Energi	57
Gambar 3. 34 Flowchart Penentuan Status Okupansi Berbasis Sensor CO ₂	59
Gambar 4. 1 Panel Kontrol Daya AC Lab Otomasi	64
Gambar 4. 2 Panel Kontrol Daya AC Lab Robotika	65
Gambar 4. 3 Panel Kontrol Daya AC Ruang PLC	65
Gambar 4. 4 Konfigurasi Device PLC AC Lab Otomasi Pada Haiwell SCADA.....	66
Gambar 4. 5 Konfigurasi Device PLC Ruang S-2 Pada Haiwell SCADA	67
Gambar 4. 6 Konfigurasi Pengalamatan Variable Modbus TCP PLC Outseal 1	68
Gambar 4. 7 Konfigurasi Pengalamatan Variable Modbus TCP PLC Outseal 2	68
Gambar 4. 8 Menu Event.....	69
Gambar 4. 9 Konfigurasi Event Penjadwalan Otomatis.....	70
Gambar 4. 10 Parameter Event pada Penjadwalan Otomatis	70
Gambar 4. 11 Task Script pada Event SCADA Lab. Otomasi & Ruang S-2	71

Gambar 4. 12 Konfigurasi Device PLC AC Kaprodi Pada Haiwell SCADA.....	72
Gambar 4. 13 Konfigurasi Pengalamatan Variable Modbus TCP PLC Outseal 3	73
Gambar 4. 14 Konfigurasi Event Penjadwalan Otomatis HMI-2.....	73
Gambar 4. 15 Contoh Task Script pada Event SCADA Ruang Kaprodi	74
Gambar 4. 16 Tampilan Halaman Utama Power Monitoring and Control in the Automation	75
Gambar 4. 17 Tampilan Halaman Utama Monitoring Daya Lampu dan Beban	75
Gambar 4. 18 Halaman Monitoring Lab Robotika dan Ruang S-2	76
Gambar 4. 19 Tampilan Halaman Historical Data Outlet Okupansi	76
Gambar 4. 20 Tampilan Halaman Historical Data Daya Outlet	77
Gambar 4. 21 Tampilan Halaman Historical Data Daya Outlet Ruang S-2	77
Gambar 4. 22 Tampilan Halaman Historical Data Daya Lampu	78
Gambar 4. 23 Halaman Overview Denah Gedung Laboratorium Teknik Elektro LT.2	78
Gambar 4. 24 Tampilan Halaman Schedule Control AC pada sistem SCADA.....	79
Gambar 4. 25 Tampilan Halaman Historical Data Daya Lampu.....	79
Gambar 4. 26 Halaman Tren Historis Daya Ruang Prodi	80
Gambar 4. 27 Tampilan Halaman Historical Data Status Komunikasi .	80
Gambar 4. 28 Grafik Sebelum Penerapan HMI 2 AC Ruang Kaprodi, AC Lab. Robot & R. Sekre	85
Gambar 4. 29 Grafik Sebelum Penerapan HMI 1 AC Lab. Otomasi & AC Ruang S-2	86
Gambar 4. 30 Grafik Sesudah Penerapan HMI 2 AC Ruang Kaprodi & AC Lab. Robot & R. Sekre.....	89
Gambar 4. 31 Grafik Sesudah Penerapan HMI 1 AC Lab. Otomasi & AC Ruang S-2	89
Gambar 4. 32 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah - AC Ruang Kaprodi	92
Gambar 4. 33 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah - AC Lab. Robot & R. Sekre	92
Gambar 4. 34 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah - AC Lab. Otomasi	93
Gambar 4. 35 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah - AC Ruang S-2	93
Gambar 4. 36 Grafik HMI 2 Lampu Kondisi Sebelum	97

Gambar 4. 37 Grafik HMI 1 Lampu Kondisi Sebelum	98
Gambar 4. 38 Grafik Sesudah HMI 2 Lampu R. Prodi, R. Sekre, R. Admin & R. Robot.....	102
Gambar 4. 39 Grafik Sesudah HMI 1 Lampu K.LAB-OI, Lorong, Ruang S-2 & LAB-OI.....	102
Gambar 4. 40 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah Lampu R. Prodi	103
Gambar 4. 41 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah Lampu R. Administrasi	104
Gambar 4. 42 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah Lampu R. Sekretariat.....	104
Gambar 4. 43 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah Lampu R. Robot	105
Gambar 4. 44 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah Lampu Ruang K.Lab OI.....	105
Gambar 4. 45 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah Lampu Lorong	106
Gambar 4. 46 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah Lampu Ruang S-2	107
Gambar 4. 47 Grafik Gabungan Sebelum & Sesudah Lampu Lab OI	107
Gambar 4. 48 Perbandingan Total Konsumsi Energi Per Titik Ukur Lampu (Sebelum & Sesudah).....	110
Gambar 4. 49 Persentase Penurunan Konsumsi Energi Lampu	111
Gambar 4. 50 Perbandingan Total Energi Lampu Keseluruhan Sebelum vs Sesudah	111
Gambar 4. 51 Grafik Pola Rata-rata Kadar CO2.....	115
Gambar 4. 52 Grafik Pola Rata-rata Kadar CO2.....	118
Gambar 4. 53 Grafik Distribusi Status Okupansi CO2	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi HMI Haiwell B7H.....	16
Tabel 2. 2 Function Code Modbus.....	17
Tabel 3. 1 Jalur Outlet Pada Panel Daya Laboratorium Otomasi.....	26
Tabel 3. 2 Jalur Outlet Pada Panel Daya Ruang S-2	27
Tabel 3. 3 Jalur Outlet Pada Panel Daya Ruang Robotika	27
Tabel 3. 4 Data Beban Daya AC.....	28
Tabel 3. 5 Daftar Panel Penerangan BAS HMI-1	33
Tabel 3. 6 Daftar Panel Penerangan BAS HMI-2.....	33
Tabel 3. 7 Spesifikasi Koneksi PLC Outseal 1 & 2.....	41
Tabel 3. 8 Spesifikasi Koneksi PLC Outseal 3.....	42
Tabel 3. 9 Protokol Komunikasi Sistem	43
Tabel 3. 10 Spesifikasi Komponen Rancangan Perangkat Keras	44
Tabel 3. 11 Pengalamatan Perangkat pada Sistem SCADA	52
Tabel 3. 12 Konfigurasi Function Code Modbus pada Sistem SCADA	53
Tabel 3. 13 Parameter Rentang Nilai Kadar CO ₂ dan Pengaturan Suhu AC	61
Tabel 4. 1 Rata-rata Daya Per Jam Seluruh Ruangan Kondisi sebelum penerapan.....	82
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Total Energi dan Biaya Kondisi sebelum penerapan.....	84
Tabel 4. 3, Rata-rata Daya Per Jam Seluruh Ruangan Kondisi Setelah Penerapan.....	86
Tabel 4. 4 Rekapitulasi Total Energi Kondisi sesudah penerapan.....	88
Tabel 4. 5 Perbandingan Total Energi Dua Kondisi	90
Tabel 4. 6 Selisih dan Persentase Penurunan Energi	91
Tabel 4. 7 Rata-rata Daya Per Jam Seluruh Titik Ukur Lampu Kondisi Sebelum Penerapan BAS.....	94
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Total Energi Lampu Kondisi Sebelum Penerapan	96
Tabel 4. 9 Rata-rata Daya Per Jam Seluruh Titik Ukur Lampu Kondisi Sesudah.....	99
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Total Energi Lampu Kondisi Sesudah	101
Tabel 4. 11 Perbandingan Total Energi Kondisi Sebelum dan Sesudah	108
Tabel 4. 12 Selisih dan Persentase Penurunan Energi Lampu.....	109
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Gabungan Konsumsi Energi Lampu dan AC.....	112
Tabel 4. 14 Statistik Deskriptif Kadar CO ₂	114

Tabel 4. 15 Statistik CO ₂ Per Hari (7–22 Mei 2026)	114
Tabel 4. 16 Rata-rata Kadar CO ₂ Per Jam dalam 24 Jam	116
Tabel 4. 17 Distribusi Status Okupansi Selama Periode Pengujian	118
Tabel 4. 18 Perbandingan CO ₂ Jam Aktif & Non Aktif.....	120
Tabel 4. 19 Detail Kejadian CO ₂ > 1000 ppm	120
Tabel 4. 20 Pengujian BAS HMI 1 Notifikasi AC dan Lampu	123
Tabel 4. 21 Pengujian BAS HMI 2 Notifikasi AC & Lampu.....	124
Tabel 4. 22 Keterbatasan Sistem dan Rekomendasi Pengembangan...	126