



**RANCANG BANGUN PROTOTIPE ALAT MONITORING BEBAN
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI SATU FASA BERBASIS IoT**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro

Oleh :
Rafi Eldrian Nabil Ristanto
40040622650018

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

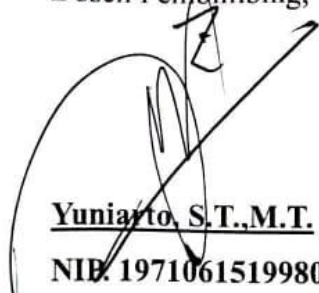
**RANCANG BANGUN PROTOTIPE ALAT MONITORING BEBAN
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI SATU FASA BERBASIS IoT**

Diajukan oleh : Rafi Eldrian Nabil Ristanto

NIM : 40040622650018

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA BAIK OLEH

Dosen Pembimbing,

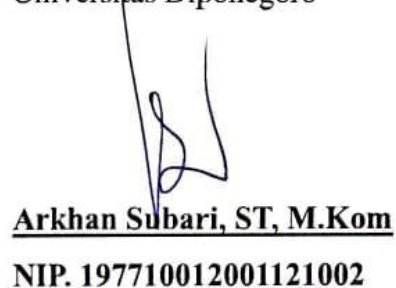


Yuniarto, S.T., M.T.
NIP. 197106151998021001

Tanggal 08 September 2026

Mengetahui

Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknik Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Arkhan Subari, ST, M.Kom
NIP. 197710012001121002

Tanggal 10 September 2026

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN PROTOTIPE ALAT MONITORING BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI SATU FASA BERBASIS IoT

Diajukan oleh : Rafi Eldrian Nabil Ristanto
NIM : 40040622650018

Telah dipertahankan di depan dewan penguji pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 19 Agustus 2026

Ketua Penguji



Dista Yoel Tadeus, S.T., M.T.

NIP. 198812282015041002

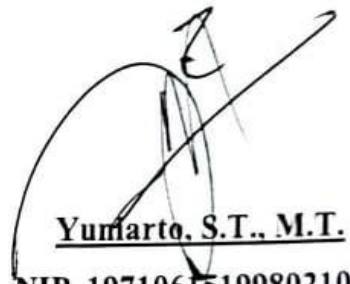
Penguji I



Fakhrudin Mangkusasmito, S.T., M.T.

NIP. 198908202019031012

Penguji II



Yumarto, S.T., M.T.

NIP. 197106151998021001

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Listrik Industri
Departemen Teknik Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Arkhan Suhari, ST, M.Kom

NIP. 197710012001121002

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rafi Eldrian Nabil Ristanto
NIM : 40040622650018
Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Departemen
Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas
Diponegoro
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Prototipe Alat Monitoring Beban
Transformator Distribusi Satu Fasa Berbasis IoT

Dengan ini saya menyatakan bahwa judul tugas akhir ini belum pernah diajukan sebelumnya untuk mendapatkan gelar keahlian di sebuah perguruan tinggi. Sejauh pengetahuan saya, tidak ada karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang saya rujuk secara tertulis dalam naskah ini dan tercantum dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia mendapat sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI. No.17 Tahun 2010 dan Undang Undang yang berlaku.

Semarang, 19 Agustus 2026

Yang membuat Pernyataan



Rafi Eldrian Nabil Ristanto

NIM. 40040622650018

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala, yang senantiasa memberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan laporan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua dan keluarga yang telah menjadi dukungan penulis untuk segera menyelesaikan laporan ini.
3. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom. selaku Kepala Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
4. Bapak Yuniarto, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan dukungan dalam penyusunan laporan hingga menyetujui laporan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen dan tenaga pendidik Program Studi Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
6. Teman seperjuangan kontrakan koncet yang selalu menemani progress pengerjaan Tugas Akhir Penulis.
7. Rekan-rekan Teknik Listrik Industri 2022 yang selalu berjuang Bersama dari awal masa perkuliahan hingga lulus.
8. Seluruh pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
9. Serta, untuk diri saya sendiri yang telah bertahan dan terus berjuang tanpa lelah hingga tersusunnya Tugas Akhir ini.

ABSTRAK

Pemantauan beban transformator distribusi diperlukan untuk mengetahui kondisi pembebanan dan mendukung deteksi dini kondisi abnormal. Penelitian ini bertujuan merancang prototipe sistem monitoring beban transformator distribusi berbasis Internet of Things dan komunikasi LoRa. Sistem terdiri atas unit transmitter dan receiver yang menggunakan ESP32 serta LoRa Ra-02 SX1278. Unit transmitter menggunakan PZEM-004T dan PZCT-02 untuk mengukur parameter kelistrikan. Komunikasi LoRa menerapkan mekanisme polling dengan identitas TRAF01. Receiver menambahkan timestamp melalui NTP, kemudian menyimpan data pada Google Spreadsheet. Telegram Bot digunakan untuk menampilkan data dan memberikan peringatan kondisi abnormal. Hasil pengujian PZEM-004T menunjukkan akurasi tegangan sebesar 99,76%, arus sebesar 98,43%, dan frekuensi sebesar 99,97%. Perhitungan persentase pembebanan menghasilkan akurasi sebesar 98,43%. Komunikasi LoRa masih menerima data pada jarak 600 m dengan RSSI sebesar -116 dBm. Data tidak diterima pada jarak 650 m. Pengujian komunikasi selama lima jam menghasilkan success rate sebesar 98,33%. Google Spreadsheet dapat menyimpan data monitoring beserta identitas transformator dan timestamp. Telegram Bot dapat menampilkan data melalui perintah /cek. Notifikasi berhasil dikirim ketika terjadi overvoltage, undervoltage, dan pembebanan melebihi 80%. Pengujian operasi selama 24 jam menghasilkan 283 data dari 288 polling teoritis. Persentase data tersimpan mencapai 98,26%, sedangkan 1,74% data tidak tersimpan. Berdasarkan kondisi pengujian, prototipe dapat menjalankan pengukuran, komunikasi, penyimpanan, dan penyampaian peringatan secara terintegrasi.

Kata kunci: transformator distribusi, monitoring beban, ESP32, PZEM-004T, LoRa, Internet of Things.

ABSTRACT

Distribution transformer load monitoring is required to observe loading conditions and support the early detection of abnormal conditions. This study aims to develop a prototype distribution transformer load monitoring system based on the Internet of Things and LoRa communication. The system consists of transmitter and receiver units using ESP32 microcontrollers and LoRa Ra-02 SX1278 modules. The transmitter employs a PZEM-004T and PZCT-02 to measure electrical parameters. LoRa communication applies a polling mechanism using the TRAF01 identifier. The receiver adds timestamps obtained through NTP and stores the data in Google Spreadsheet. A Telegram Bot is used to display monitoring data and provide warnings for abnormal conditions. The PZEM-004T testing produced accuracies of 99.76% for voltage, 98.43% for current, and 99.97% for frequency. The transformer loading percentage calculation achieved an accuracy of 98.43%. LoRa communication successfully received data at 600 m with an RSSI of -116 dBm. Data could not be received at 650 m. A five-hour communication test produced a success rate of 98.33%. Google Spreadsheet successfully stored monitoring data, transformer identification, and timestamps. The Telegram Bot displayed monitoring data through the /cek command. Notifications were successfully delivered during overvoltage, undervoltage, and loading conditions exceeding 80%. The 24-hour operation test recorded 283 data entries from 288 theoretical polling cycles. The stored data percentage reached 98.26%, while 1.74% of the data was not stored. Under the tested conditions, the prototype performed measurement, communication, data storage, and warning delivery as an integrated system.

Keywords: *distribution transformer, load monitoring, ESP32, PZEM-004T, LoRa, Internet of Things.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Laporan Tugas Akhir, yang merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Sarjana Terapan pada Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. dengan judul “RANCANG BANGUN PROTOTIPE ALAT MONITORING BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI SATU FASA BERBASIS IoT”.

Laporan Tugas Akhir ini diharapkan dapat menambah kreativitas dan pengetahuan yang baik bagi penulis maupun pembaca laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam tersusunnya laporan ini dengan baik.. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan karena masih terbatasnya pengetahuan yang penulis miliki, maka dari itu penulis mengharapakan kritik dan saran yang membangun dan memotivikasi dari pembaca demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.

Dengan terselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala, yang senantiasa memberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan laporan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua dan keluarga yang telah menjadi dukungan penulis untuk segera menyelesaikan laporan ini.
3. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom. selaku Kepala Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
4. Bapak Yuniarto, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan dukungan dalam penyusunan laporan hingga menyetujui laporan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen dan tenaga pendidik Program Studi Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
6. Teman seperjuangan kontrakan koncet yang selalu menemani progress

pengerjaan Tugas Akhir Penulis.

7. Rekan-rekan Teknik Listrik Industri 2022 yang selalu berjuang Bersama dari awal masa perkuliahan hingga lulus.
8. Seluruh pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
9. Serta, untuk diri saya sendiri yang telah bertahan dan terus berjuang tanpa lelah hingga tersusunnya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih jauh dari kata sempurna, Oleh karena itu penulis berharap kritik dan saran yang membangun untuk pengembangan penulis untuk laporan-laporan berikutnya. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Manfaat Teoritis.....	4
1.4.2 Manfaat Praktis	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Tugas Akhir	7
BAB II LANDASAN TEORI	9
2.1 Tinjauan Pustaka	9
2.2 Dasar Teori.....	11
2.2.1 Transformator Distribusi Satu Fasa	11
2.2.2 Beban Trafo dan Persentase Pembebanan	12
2.2.3 Sensor PZEM-004T	13
2.2.4 Mikrokontroler ESP32.....	14
2.2.5 Modul LoRa Ra-02 SX1278.....	16
2.2.6 Protokol Komunikasi LoRa dan Mekanisme <i>Polling</i>	17

2.2.7 NTP (Network Time Protocol) untuk <i>Time Synchronization</i>	18
2.2.8 Google Spreadsheet sebagai Platform Data Logging	19
2.2.9 Bot Telegram sebagai Media Komunikasi.....	21
2.2.10 LCD (Liquid Crystal Display) pada Unit Transmitter.....	22
2.2.11 Internet of Things (IoT) dalam Sistem Monitoring	22
2.2.12 Power Supply Unit (PSU).....	23
BAB III PERANCANGAN ALAT	25
3.1 Perancangan Hardware.....	25
3.1.1 Perancangan Konstruksi 3D Alat.....	27
3.1.1.1 Desain 3D Transmitter	27
3.1.1.2 Desain 3D Receiver.....	29
3.1.2 Diagram Schematic.....	34
3.1.2.1 Diagram Schematic Transmitter.....	34
3.1.2.1.1 Rangkaian Trafo	37
3.1.2.1.2 Rangkaian PZEM-004T dan PZCT-02 Transmitter	40
3.1.2.1.3 Rangkaian LoRa Ra-02 SX1278 Transmitter	41
3.1.2.1.4 Rangkaian LCD I2C dengan Push Button Transmitter	42
3.1.2.1.5 Rangkaian PSU Transmitter.....	44
3.1.2.2 Diagram Schematic Receiver	45
3.1.2.2.1 Rangkaian LoRa Ra-02 SX1278 Receiver.....	47
3.1.2.2.2 Rangkaian PSU Receiver	48
3.2 Perancangan Software	50
3.2.1 Flowchart Transmitter.....	50
3.2.2 Flowchart Receiver	54
BAB IV PEMBUATAN ALAT	58
4.1. Pembuatan Perangkat Keras.....	58
4.1.1 Alat dan Bahan.....	58
4.1.2 Pembuatan Rangkaian Elektrik.....	61
4.1.2.1 Pembuatan Rangkaian Elektrik Transmitter	61
4.1.2.1.1 Perancangan Layout PCB Transmitter	61
4.1.2.1.2 Percetakan dan Penyolderan Komponen pada PCB Transmitter	62
4.1.2.2 Pembuatan Rangkaian Elektrik Receiver.....	63

4.1.2.2.1 Perancangan Layout PCB Receiver	63
4.1.2.2.2 Percetakan dan Penyolderan Komponen pada PCB Receiver	64
4.1.3 Pembuatan Perangkat Mekanik	65
4.1.3.1 Pembuatan Perangkat Mekanik Transmitter	65
4.1.3.2 Pembuatan Perangkat Mekanik Receiver.....	66
4.1.3.3 Pembuatan Perangkat Mekanik Unit Box Trafo	67
4.2 Pembuatan Perangkat Lunak.....	69
4.2.1. Pembuatan Perangkat Lunak Transmitter.....	70
4.2.1.1 Pemrograman Arduino IDE Transmitter	70
4.2.1.2 Pengaturan Port pada Arduino IDE Transmitter	71
4.2.1.3 Inisialisasi Pin dan Konfigurasi Awal ESP32 Transmitter	72
4.2.1.4 Pembacaan Sinyal Sensor PZEM-004T Transmitter.....	75
4.2.1.5 Penampilan Data Sensor PZEM-004T Pada LCD Transmitter.....	77
4.2.1.6 Push Button Sebagai Pengaturan Antarmuka LCD Transmitter ...	80
4.2.1.7 Pengiriman Data Melalui LoRa Ra02-SX1278 Transmitter	82
4.2.2 Pembuatan Perangkat Lunak Receiver	86
4.2.2.1 Pemrograman Arduino IDE Receiver	86
4.2.2.2 Pengaturan Port pada Arduino IDE Receiver.....	87
4.2.2.3 Inisialisasi Pin dan Konfigurasi Awal ESP32 Receiver	88
4.2.2.4 Pembacaan Wifi Oleh ESP32 Receiver.....	91
4.2.2.5 Sinkronisasi Waktu Menggunakan Network Time Protocol (NTP)	93
4.2.2.6 Penerimaan Data Melalui LoRa Ra02-SX1278 Receiver.....	96
4.2.2.7 Pengiriman dan Penyimpanan Data ke Google Spreadsheets.....	100
4.2.2.8 Monitoring dan Notifikasi Peringatan ke Bot Telegram	103
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS ALAT.....	109
5.1 Prosedur pengukuran dan Pengujian.....	109
5.2 Pengujian Akurasi Sensor PZEM-004T.....	112
5.2.1 Pengujian Akurasi Tegangan Sensor PZEM-004T.....	112
5.2.2 Pengujian Akurasi Arus Sensor PZEM-004T.....	114
5.2.3 Pengujian Frekuensi Tegangan Sensor PZEM-004T.....	116
5.3 Pengujian Persentase Pembebanan Transformator	118
5.4 Pengujian RSSI LoRa Berdasarkan Jarak	121

5.5 Pengujian Success Rate LoRa	125
5.6 Penyimpanan data ke Google Spreadsheet	127
5.7 Notifikasi dan Perintah Bot Telegram.....	130
5.8 Pengujian Keandalan Sistem 24 Jam	133
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	137
6.1 Kesimpulan	137
6.2 Saran.....	138
DAFTAR PUSTAKA	140
LAMPIRAN.....	142

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Trafo satu fasa	11
Gambar 2. 2 Sensor PZEM-004T.....	13
Gambar 2. 3 ESP 32	14
<i>Gambar 2. 4 LoRa Ra-02 SX1278.....</i>	16
Gambar 2. 5 Protokol Komunikasi LoRa.....	17
Gambar 2. 6 <i>Network Time Protocol.....</i>	18
Gambar 2. 7 LCD (Liquid Crystal Display).....	22
Gambar 2. 8 Diagram Sistem Monitoring Berbasis IoT	22
Gambar 2. 9 Power Supply Unit 5V 2A	23
Gambar 3. 1 Diagram Blok	25
Gambar 3. 2 Tampak Depan 3D Transmitter	28
Gambar 3. 3 Tampak Dalam 3D Transmitter	28
Gambar 3. 4 Tampak Depan 3D Receiver.....	29
Gambar 3. 5 Tampak Dalam 3D Receiver	30
Gambar 3. 6 Desain Konstruksi Box Unit Simulasi Variasi Tegangan.....	31
Gambar 3. 7 Tata Letak Komponen Unit Simulasi Variasi Tegangan.....	32
Gambar 3. 8 Desain Keseluruhan Unit Simulasi Variasi Tegangan.....	33
Gambar 3. 9 Schematic Diagram Transmitter.....	34
Gambar 3. 10 Wiring Diagram Transmitter	35
Gambar 3. 11 Rangkaian Simulasi Variasi Tegangan Transmitter	37
Gambar 3. 12 Rangkaian PZEM-004T dan PZCT-02 Transmitter	40
Gambar 3. 13 Rangkaian LoRa Ra-02 SX1278 Transmitter.....	41
Gambar 3. 14 Rangkaian LCD I2C dengan Push Button Transmitter	42
Gambar 3. 15 Rangkaian PSU Transmitter	44
Gambar 3. 16 Schematic Diagram Receiver	45
Gambar 3. 17 Wiring Diagram Receiver.....	45
Gambar 3. 18 Rangkaian LoRa Ra-02 SX1278 Receiver.....	47
Gambar 3. 19 Rangkaian PSU Receiver	48
Gambar 3. 20 Flowchart Transmitter	50

Gambar 3. 21 Flowchart Receiver	54
Gambar 4. 1 Layout PCB Transmitter.....	61
Gambar 4. 2 Layout PCB Receiver.....	63
Gambar 4. 3 Program Pengaturan Komunikasi Serial pada Arduino IDE Transmitter	72
Gambar 4. 4 Program Library dan Inisialisasi Pin Transmitter	73
Gambar 4. 5 Program Identitas dan Kapasitas Transformator	74
Gambar 4. 6 Program Deklarasi Objek Perangkat Transmitter.....	74
Gambar 4. 7 Program Konfigurasi Awal ESP32 Transmitter.....	75
Gambar 4. 8 Program Pembacaan Data Sensor PZEM-004T Transmitter.....	76
Gambar 4. 9 Program Penetapan Kapasitas dan Tegangan Nominal Transformator	76
Gambar 4. 10 Program Pembacaan Sensor Secara Berkala pada Transmitter	77
Gambar 4. 11 Program Inisialisasi LCD I2C Transmitter.....	77
Gambar 4. 12 Program Konfigurasi Alamat dan Ukuran LCD.....	78
Gambar 4. 13 Program Tampilan Awal LCD Transmitter.....	78
Gambar 4. 14 Program Pembagian Halaman Tampilan LCD Transmitter	79
Gambar 4. 15 Program Penampilan Data pada LCD Transmitter.....	79
Gambar 4. 16 Program Pembaruan Tampilan LCD Transmitter.....	80
Gambar 4. 17 Program Inisialisasi Push Button Transmitter.....	80
Gambar 4. 18 Program Pembacaan Push Button Transmitter.....	81
Gambar 4. 19 Alur Perpindahan Menu LCD Transmitter	81
Gambar 4. 20 Program Pemilihan Halaman LCD Transmitter	82
Gambar 4. 21 Program Inisialisasi LoRa Ra-02 SX1278 Transmitter.....	83
Gambar 4. 22 Program Penerimaan Paket LoRa Transmitter	84
Gambar 4. 23 Program Validasi Permintaan Data Receiver	84
Gambar 4. 24 Program Pembentukan Paket Data LoRa Transmitter.....	85
Gambar 4. 25 Format Paket Data yang Dikirim LoRa Transmitter	85
Gambar 4. 26 Program Pengiriman Data Melalui LoRa.....	85
Gambar 4. 27 Program Pengaturan Komunikasi Serial Receiver	88
Gambar 4. 28 Program Pemanggilan Library Receiver	89

Gambar 4. 29 Program Inisialisasi Pin LoRa Receiver.....	89
Gambar 4. 30 Program Identitas Transmitter pada Receiver	89
Gambar 4. 31 Program Deklarasi Objek Sistem Receiver	90
Gambar 4. 32 Program Pembuatan Task pada ESP32 Receiver	91
Gambar 4. 33 Program Konfigurasi Identitas WiFi	91
Gambar 4. 34 Program Koneksi Awal WiFi.....	92
Gambar 4. 35 Program Pemeriksaan Status Koneksi WiFi.....	92
Gambar 4. 36 Program Status Koneksi WiFi	93
Gambar 4. 37 Program Konfigurasi Server NTP	93
Gambar 4. 38 Program Sinkronisasi Waktu NTP	94
Gambar 4. 39 Program Pemeriksaan Sinkronisasi Waktu NTP	94
Gambar 4. 40 Program Pengambilan Epoch Time.....	95
Gambar 4. 41 Program Konversi Data Waktu.....	95
Gambar 4. 42 Program Penggunaan Timestamp pada Google Spreadsheet	96
Gambar 4. 43 Program Inisialisasi LoRa Receiver	97
Gambar 4. 44 Program Pengiriman Permintaan Data ke Transmitter.....	97
Gambar 4. 45 Program Penerimaan Data LoRa.....	98
Gambar 4. 46 Program Polling Data Receiver.....	98
Gambar 4. 47 Format Paket Data yang Diterima LoRa Receiver.....	99
Gambar 4. 48 Program Ekstraksi Data Hasil Penerimaan LoRa Receiver	99
Gambar 4. 49 Program Verifikasi Data Hasil Penerimaan LoRa Receiver.....	99
Gambar 4. 50 Program Konfigurasi Autentikasi Google Spreadsheet.....	100
Gambar 4. 51 Program Inisialisasi Google Spreadsheet\.....	101
Gambar 4. 52 Program Pemeriksaan Status Google Spreadsheet.....	101
Gambar 4. 53 Program Penyusunan Data Monitoring	102
Gambar 4. 54 Program Pengiriman Data ke Google Spreadsheet	102
Gambar 4. 55 Program Pemeriksaan Status Pengiriman Data	102
Gambar 4. 56 Program Pemanggilan Pengiriman Data pada Task Polling.....	103
Gambar 4. 57 Program Konfigurasi Telegram Bot	104
Gambar 4. 58 Program Inisialisasi Telegram Bot	104
Gambar 4. 59 Program Pengiriman Pesan Saat Sistem Aktif	104

Gambar 4. 60 Program Penentuan Ambang Batas Notifikasi	105
Gambar 4. 61 Program Pemeriksaan Beban Transformator.....	106
Gambar 4. 62 Program Pemeriksaan Tegangan Undervoltage Transformator....	106
Gambar 4. 63 Program Pemeriksaan Tegangan Overvoltage Transformator.....	107
Gambar 4. 64 Program Pemeriksaan Perintah Telegram	107
Gambar 4. 65 Program Task Monitoring Telegram	108
Gambar 5. 1 Tempat dan jarak Pengujian RSSI LoRa	121
Gambar 5. 2 Tampilan Data Monitoring pada Google Spreadsheet	128

DAFTAR TABEL

Tabel 2 - 1 Spesifikasi Sensor PZEM-004T.....	13
Tabel 2 - 2 Spesifikasi Mikrokontroler ESP32	15
Tabel 2 - 3 Spesifikasi Modul LoRa Ra-02 SX1278.....	16
Tabel 2 - 4 Perbedaan Penggunaan NTP dan RTC.....	18
Tabel 3 - 1 Konfigurasi Pemilihan Tegangan pada Rotary Selector Switch	39
Tabel 3 - 2 Konfigurasi Rangkaian PZEM-004T, PZCT-02, dan ESP32.....	40
Tabel 3 - 3 Konfigurasi Rangkaian LoRa Ra-02 SX1278 dan ESP32.....	42
Tabel 3 - 4 Konfigurasi Rangkaian LCD I2C dengan Push Button	43
Tabel 3 - 5 Konfigurasi Rangkaian PSU	44
Tabel 3 - 6 Konfigurasi Rangkaian LoRa Ra-02 SX1278.....	47
Tabel 3 - 7 Konfigurasi Rangkaian PSU	49
Tabel 4 - 1 Alat yang Digunakan.....	59
Tabel 4 - 2 Bahan yang Digunakan.....	59
Tabel 5 - 1 Parameter pengujian.....	111
Tabel 5 - 2 Hasil Pengujian Tegangan Sensor PZEM-004T	112
Tabel 5 - 3 Hasil Pengujian Arus Sensor PZEM-004T	114
Tabel 5 - 4 Hasil Pengujian Frekuensi Sensor PZEM-004T	116
Tabel 5 - 5 Hasil Pengujian Persentase Pembebanan Transformator	119
Tabel 5 - 6 Hasil Pengujian RSSI LoRa Berdasarkan Jarak	122
Tabel 5 - 7 Hasil Pengujian Success Rate Komunikasi LoRa.....	126
Tabel 5 - 8 Hasil Pengujian Penyimpanan Data ke Google Spreadsheet.....	129
Tabel 5 - 9 Hasil Pengujian Notifikasi dan Perintah pada Telegram Bot.....	131
Tabel 5 - 10 Hasil Pengujian Operasi Sistem Selama 24 Jam.....	134

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Program pada Node Transmitter.....	142
Lampiran 2 Program pada Node Receiver	150
Lampiran 3 Dokumentasi Pembuatan Alat	165
Lampiran 4 Data Hasil Percobaan.....	166
Lampiran 5 Datasheet ESP32.....	169
Lampiran 6 Datasheet PZEM-004T	170
Lampiran 7 Datasheet LoRa Ra-02 SX1278.....	171