



**RANCANG BANGUN MODUL *TRAINER* SIMULASI
RELAI DIFERENSIAL BERBASIS ARDUINO MEGA 2560**

LAPORAN TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Muhammad Ahnaf Firmansyah

NIM. 40040620650008

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

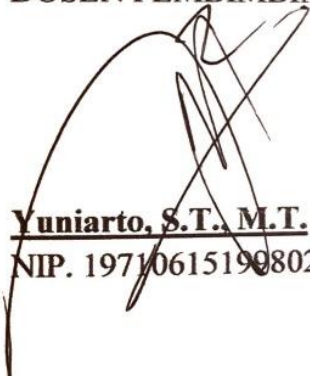
2024

HALAMAN PENGESAHAN

**LAPORAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN MODUL *TRAINER* SIMULASI
RELAI DIFERENSIAL BERBASIS ARDUINO MEGA 2560**

Diajukan oleh : Muhammad Ahnaf Firmansyah
NIM : 40040620650008


DOSEN PEMBIMBING,


Yuniarto, S.T., M.T.
NIP. 197106151908021001

19 Agustus
Tanggal.....2024

Mengetahui,

Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri
Universitas Diponegoro


Arkhan Subari, S.T., M.Kom.
NIP. 197710012001121002

28 Agustus
Tanggal.....2024

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN MODUL *TRAINER* SIMULASI
RELAI DIFERENSIAL BERBASIS ARDUINO MEGA 2560**

Diajukan oleh : Muhammad Ahnaf Firmansyah
NIM : 40040620650008

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada:

Hari : Jumat

Tanggal : 16 Agustus 2024

Penguji 1



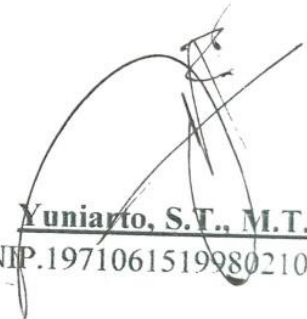
Drs. Eko Ariyanto, M.T.
NIP. 196004051986021001

Penguji 2



Fakhruddin M, S.T., M.T.
NIP. 198908202019031012

Penguji 3



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

Mengetahui,

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



Arkhan Subari, S.T., M.Kom.
NIP. 197710012001121002

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ahnaf Firmansyah

NIM : 40040620650008

Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri

Judul Tugas Akhir : **RANCANG BANGUN MODUL *TRAINER* SIMULASI
RELAI DIFERENSIAL BERBASIS ARDUINO MEGA 2560**

Dengan ini menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam naskah ini dan telah disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No. 17 tahun 2010 dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 31 Juli 2024

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Ahnaf Firmansyah
NIM. 40040620650008

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala puji syukur kepada Allah SWT., dan atas doa serta dukungan seluruh pihak yang telah membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini sehingga penulis mempersembahkan Tugas Akhir ini untuk:

1. Kedua orang tua penulis, yakni Ibu Rida Mulyanah, S.Pd., Bapak Mohamad Sigit, S.T., yang selalu memberikan doa, dukungan moral dan material serta motivasi kepada penulis selama menimba ilmu di masa perkuliahan,
2. Saudara kandung penulis, yaitu Kholifatunnisa Annajmi, Muhammad Aufa, Aulia Hasna Lathifah, Aisyah Husnul Khotimah, dan juga Ainnur Rahma yang selalu memberikan doa dukungan dan motivasi kepada penulis,
3. Bapak Yuniarto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penulis atas bantuan bimbingan dan arahnya kepada penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom., selaku Ketua Program Studi yang juga membantu penulis dalam penulisan laporan ini,
5. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Listrik Industri yang juga telah memberikan ilmu yang berharga kepada penulis,
6. Seluruh teman-teman Teknik Listrik Industri Angkatan 2020 yang telah banyak membantu penulis selama ini,
7. Saudari Aulia Citra Berlian yang telah memberikan semangat untuk bangkit terhadap penyelesaian masalah dalam Tugas Akhir ini, dan
8. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT. memberikan balasan berupa kebaikan kepada pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Salam sehat dan sukses selalu.

ABSTRAK

Kompleks dan panjangnya sistem operasi tenaga listrik memiliki potensi resiko terkena gangguan yang tinggi dan juga beragam. Perlu adanya sistem proteksi yang handal dalam jaringan tegangan listrik tersebut. Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang di peralatan-peralatan listrik pada suatu sistem tenaga listrik. Terdapat banyak aplikasi dari proteksi pada sistem tenaga listrik, misalnya pada generator, transformator, saluran jaringan dan lain sebagainya, dengan tujuan sebagai proteksi peralatan tersebut terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Salah satu relai proteksi yang digunakan untuk pengamanan pada peralatan operasi sistem tenaga listrik adalah relai diferensial, yaitu dengan membandingkan arus yang masuk dan arus yang keluar. Ketika terjadi perbedaan nilai arus, maka relai diferensial akan mendeteksi adanya gangguan dan juga akan memberikan sinyal kepada PMT (Pemutus Tegangan) untuk membuka apabila terjadi perbedaan. Dalam mempermudah pembelajaran mengenai prinsip kerja dari relai diferensial sehingga tugas akhir ini dibuat. Alat ini menggunakan mikrokontroler berupa Arduino Mega 2560, modul *driver relay* 5 VDC, relai elektromekanis Omron 12 VDC, sensor arus tegangan PZEM-004T, serta sensor arus Gravity Current 20A. Kedua sensor ini dapat bekerja sangat baik dengan selisih pengukuran yang cukup sedikit dan nilai error tertinggi sebesar 0,33. Hasil dari percobaan yang dilakukan pada alat simulasi ini diperoleh bahwa relai diferensial dapat bekerja secara cepat. Dari alat simulasi ini disimpulkan bahwa apabila terjadi gangguan pada dalam zona proteksi relai diferensial, maka relai akan memerintahkan *circuit breaker* di sisi primer akan membuka. Sedangkan apabila terjadi gangguan di luar zona proteksi relai diferensial, maka relai tersebut akan memerintahkan *circuit breaker* di sisi sekunder akan membuka dengan kondisi daerah dalam zona proteksi masih beroperasi karena tanpa adanya intervensi gangguan di dalamnya.

Kata Kunci: *Proteksi Tenaga Listrik, Relai Diferensial, Arduino Mega 2560*

ABSTRACT

The complexity and length of the electric power operating system has the potential risk of being exposed to high and diverse disturbances. It is necessary to have a reliable protection system in the voltage network. Power system protection is a protection system installed in electrical equipment in a power system. There are many applications of protection in the power system, for example in generators, transformers, network lines and so on, with the aim of protecting the equipment against abnormal conditions of the system operation itself. One of the protection relays used for safety on power system operating equipment is a differential relay, which compares the incoming current and outgoing current. When there is a difference in current value, the differential relay will detect a disturbance and will also give a signal to the PMT (Voltage Breaker) to open if there is a difference. In facilitating learning about the working principle of the differential relay so that this final project is made. This tool uses a microcontroller in the form of an Arduino Mega 2560, 5 VDC relay driver module, Omron 12 VDC electromechanical relay, PZEM-004T voltage current sensor, and Gravity Current 20A current sensor. These two sensors can work very well with a fairly small measurement difference and the highest error value of 0.33. The results of the experiments carried out on this simulation tool obtained that the differential relay can work quickly. From this simulation tool, it is concluded that if there is a disturbance in the differential relay protection zone, the relay will order the circuit breaker on the primary side to open. Meanwhile, if there is a disturbance outside the differential relay protection zone, the relay will order the circuit breaker on the secondary side to open with the condition that the area in the protection zone is still operating because there is no disturbance intervention in it.

Keywords: *Electrical Power Protection, Differential Relay, Arduino Mega 2560*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Modul *Trainer* Simulasi Relai Diferensial berbasis Arduino Mega 2560.” Adapun penyusunan Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan di Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini tentunya penulis mendapatkan pengetahuan, dukungan, pengalaman, masukan, serta bantuan yang diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, diantaranya:

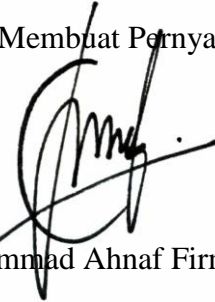
1. Kedua orang tua dan seluruh saudara kandung penulis yang telah memberikan doa, perhatian, serta dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini,
2. Prof. Dr. Ir. Budiyono, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro,
3. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
4. Bapak Yuniarto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing penulis yang telah mendukung dan mengarahkan penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ir. Saiful Manan, M.T., selaku Dosen Program Studi Teknik Listrik Industri yang telah membimbing dan memberikan ilmu dengan sangat baik.
6. Seluruh dosen dan staf pada Program Studi Teknik Listrik Industri yang telah memberikan masukan terhadap tugas akhir ini.
7. Seluruh teman-teman Teknik Listrik Industri Angkatan 2020 yang telah banyak membantu penulis selama ini.

8. Saudari Aulia Citra Berlian yang telah memberikan semangat untuk bangkit terhadap penyelesaian masalah dalam Tugas Akhir ini, dan
9. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar laporan Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Akhir kata, penulis memohon maaf apabila ada kekeliruan dalam penyusunan laporan ini. Penulis berharap agar laporan ini dapat memberikan manfaat.

Semarang, 31 Juli 2024

Yang Membuat Pernyataan



Muhammad Ahnaf Firmansyah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Tugas Akhir	5
1.4. Manfaat Tugas Akhir	5
1.4.1. Manfaat Teoritis	6
1.4.2. Manfaat Praktis	6
1.5. Pembatasan Masalah	7
1.6. Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir	8
1.6.1. Bagian Depan	8
1.6.2. Bagian Utama.....	9
BAB II LANDASAN TEORI.....	11
2.1. Tinjauan Pustaka	11
2.2. Dasar Teori.....	12
2.2.1. Sistem Proteksi Tenaga Listrik	12
2.2.2. Relai Proteksi	19
2.2.3. Relai Diferensial.....	20

2.3.	Komponen Utama	27
2.3.1.	Catu Daya.....	28
2.3.2.	<i>Stepdown</i> MP1584	29
2.3.3.	Sensor Arus dan Tegangan.....	32
2.3.4.	Sensor PZEM-004T	34
2.3.5.	Relai Elektromekanis	36
2.3.6.	<i>Module Driver Relay</i>	39
2.3.7.	Optocoupler PC817	42
2.3.8.	<i>Liquid Cristal Display with I2C module</i>	45
2.3.9.	Modul PC8574	47
2.3.10.	<i>Keypad</i>	48
2.3.11.	Arduino Mega 2560	49
2.3.12.	Arduino IDE.....	54
BAB III PERANCANGAN ALAT		56
3.1.	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	56
3.1.1.	Blok Diagram	59
3.1.2.	Cara Kerja Blok Diagram.....	66
3.2.	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	77
3.2.1.	<i>Flowchart</i>	77
3.2.2.	Cara Kerja Sistem	78
BAB IV PEMBUATAN ALAT		81
4.1.	Pembuatan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	81
4.1.1.	Desain Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	81
4.1.2.	Alat dan Bahan Pembuatan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	86
4.1.3.	Pembuatan Rangkaian Elektronika	88
4.1.4.	Pembuatan dan Pemasangan Modul <i>Trainer</i>	92
4.1.5.	Perakitan Alat pada <i>Protector Box</i>	94
4.2.	Pembuatan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	97
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS		101
5.1.	Tujuan Pengukuran dan Pengujian Karya Tugas Akhir.....	102
5.2.	Peralatan Pengukuran dan Pengujian	102

5.3.	Prosedur Pengukuran dan Pengujian.....	102
5.4.	Pengukuran Rangkaian	103
5.4.1.	Pengukuran Rangkaian Catu Daya.....	104
5.4.2.	Pengukuran Tegangan Suplai Mikrokontroller.....	105
5.4.3.	Pengukuran Arus oleh Komponen Sistem	106
5.5.	Pengujian Alat secara Keseluruhan.....	109
5.6.	Analisis Hasil Pengukuran Rangkaian dan Pengujian Alat	112
5.6.1.	Analisis Pengukuran Rangkaian Catu Daya	113
5.6.2.	Analisis Pengukuran Tegangan Suplai Mikrokontroller.....	113
5.6.3.	Analisis Pengukuran Arus oleh Komponen Sistem	113
5.6.4.	Analisis Pengujian Alat secara Keseluruhan.....	114
BAB VI PENUTUP		115
6.1.	Kesimpulan	115
6.2.	Saran.....	115
DAFTAR PUSTAKA		116
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....		118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sistem Operasi Tenaga Listrik di Indonesia.....	13
Gambar 2.2.	Sistem Proteksi dalam Operasi Ketenagalistrikan.....	16
Gambar 2.3.	Skema Sistem Proteksi Kelistrikan Sederhana.....	19
Gambar 2.4.	Relai Diferensial	21
Gambar 2.5.	Aplikasi Relai Diferensial.....	22
Gambar 2.6.	Relai Diferensial tipekal Keseimbangan Arus.....	24
Gambar 2.7.	Relai Diferensial tipekal Keseimbangan Tegangan.....	25
Gambar 2.8.	Relai Diferensial tipekal Presentase	26
Gambar 2.9.	Skema Kerja Transformator	28
Gambar 2.10.	Modul <i>step-down</i> MP1584	29
Gambar 2.11.	Rangkaian modul <i>step-down</i> MP1584.....	30
Gambar 2.12.	Sensor Gravity Current 20A	33
Gambar 2.13.	Sensor ZMPT101B	33
Gambar 2.14.	Modul Sensor PZEM-004T	34
Gambar 2.15.	<i>Wiring</i> diagram modul sensor PZEM-004T	35
Gambar 2.16.	Struktur Sederhana Relai	37
Gambar 2.17.	Rangkaian modul <i>driver relay</i>	39
Gambar 2.18.	<i>Optocoupler</i> PC817	42
Gambar 2.19.	<i>Liquid Crystal Display</i> (LCD).....	45
Gambar 2.20.	Ilustrasi <i>Wiring</i> LCD with I2C dengan Arduino	46
Gambar 2.21.	Modul PC8574.....	47
Gambar 2.22.	<i>Keypad</i> 4x4.....	48
Gambar 2.23.	Arduino Mega 2560.....	49
Gambar 2.24.	Tampilan Arduino IDE.....	54
Gambar 3.1.	Contoh Desain Modul <i>Trainer</i> Elektronika.....	56
Gambar 3.2.	Perancangan <i>Protector Box</i> sebagai Media Alat	57
Gambar 3.3.	Blok Diagram Karya Tugas Akhir.....	61
Gambar 3.4.	Rangkaian Alat Secara Keseluruhan	65
Gambar 3.5.	Rangkaian Catu Daya	66

Gambar 3.6.	Rangkaian <i>Module Relay</i>	67
Gambar 3.7.	Rangkaian <i>Pilot Lamp</i>	69
Gambar 3.8.	Rangkaian Sensor PZEM-004T dengan Arduino Mega 2560.....	71
Gambar 3.9.	Rangkaian Sensor Arus Gravity 20A	72
Gambar 3.10.	Rangkaian Sensor ZMPT101B	73
Gambar 3.11.	Rangkaian LCD <i>with I2C</i> dengan Arduino Mega 2560	76
Gambar 3.12.	<i>Flowchart</i> Sistem Alat.....	78
Gambar 4.1.	Proses Pembuatan Desain Perangkat Keras (<i>hardware</i>)	82
Gambar 4.2.	Tampak Depan Desain Sistem pada <i>Protector Box</i>	83
Gambar 4.3.	Desain <i>Schematic</i> Rangkaian Elektrikal	85
Gambar 4.4.	Desain <i>Schematic</i> dari Modul <i>Stepdown</i> MP1584.....	90
Gambar 4.5.	Desain <i>Schematic</i> dari Rangkaian <i>Module Relay</i>	91
Gambar 4.6.	Desain <i>Schematic</i> Modul Sensor	91
Gambar 4.7.	Desain <i>Schematic</i> Modul Sensor PZEM-004T	91
Gambar 4.8.	Pembuatan Desain <i>Board</i> menggunakan Aplikasi EasyEDA	92
Gambar 4.9.	Desain Akhir <i>Board</i> menggunakan Aplikasi EasyEDA	93
Gambar 4.10.	Hasil Proses Pembuatan PCB	94
Gambar 4.11.	<i>Protector Box</i> sebagai Media Alat.....	95
Gambar 4.12.	Komponen Elektronika pada Akrilik Lapisan Dalam	96
Gambar 4.13.	Komponen Elektronika pada Akrilik Lapisan Luar.....	96
Gambar 4.14.	Perakitan Seluruh Rangkaian pada <i>Protector Box</i>	97
Gambar 4.15.	Tampilan Awal Aplikasi Arduino IDE.....	98
Gambar 4.16.	Memilih <i>Port</i> Arduino Mega 2560	98
Gambar 4.17.	Proses <i>Upload Library</i>	99
Gambar 4.18.	Membuat Program untuk <i>Board</i> Arduino Mega 2560.....	99
Gambar 4.19.	Tampilan Setelah <i>Compile</i> Berhasil	100

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1.	Fungsi pin pada modul <i>step-down</i> MP1584.....	30
Tabel 2-2.	Spesifikasi Modul Sensor PZEM-004T	34
Tabel 2-3.	Konfigurasi Pin pada Modul Sensor PZEM-004T.....	36
Tabel 2-4.	Konfigurasi Pin pada Relai Single 5V	41
Tabel 2-5.	Spesifikasi Modul Relai Single 5V	41
Tabel 2-6.	Konfigurasi Pin pada <i>Optocoupler</i> PC817	42
Tabel 2-7.	Spesifikasi Optocoupler PC817	44
Tabel 2-8.	Konfigurasi Pin LCD 20x4	45
Tabel 2-9.	Konfigurasi Pin LCD 20x4	46
Tabel 2-10.	Deskripsi Pin LCD 20x4 dengan I2C	47
Tabel 2-11.	Spesifikasi <i>Keypad</i> 4x4.....	48
Tabel 2-12.	Spesifikasi Arduino Mega 2560.....	50
Tabel 2-13.	Konfigurasi Pin pada Arduino Mega 2560	51
Tabel 3-1.	Penjelasan Blok Diagram.....	62
Tabel 3-2.	Konfigurasi Pin Arduino Mega 2560 dengan PZEM-004T.....	70
Tabel 3-3.	Konfigurasi Pin Digital <i>Input</i> dan <i>Output</i> Arduino Mega 2560	74
Tabel 3-4.	Konfigurasi Pin Analog <i>Input</i> Arduino Mega 2560	75
Tabel 4-1.	Daftar Peralatan Pendukung Pembuatan Perangkat Keras	86
Tabel 4-2.	Daftar Bahan Pembuatan Perangkat Keras	87
Tabel 4-3.	Daftar Komponen Rangkaian Catu Daya.....	89
Tabel 4-4.	Daftar Komponen Rangkaian <i>Module Relay</i>	89
Tabel 4-5.	Daftar Komponen Rangkaian <i>Pilot Lamp</i>	89
Tabel 4-6.	Daftar Komponen Rangkaian Sensor Arus dan Tegangan	90
Tabel 5-1.	Data Hasil Pengukuran Rangkaian Catu Daya	104
Tabel 5-2.	Data Hasil Pengukuran Mikrokontroler Arduino Mega 2560	105
Tabel 5-3.	Data Hasil Pengukuran oleh Komponen Sistem	107
Tabel 5-4.	Data Hasil Perbandingan Pengukuran oleh Komponen Sistem.....	109
Tabel 5-5.	Data Hasil Pengujian Alat secara Keseluruhan.....	110

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Rangkaian secara Keseluruhan	118
Lampiran 2. Kode Program Mikrokontroler Arduino Mega 2560.....	119
Lampiran 3. <i>Datasheet</i> Arduino Mega 2560.....	128
Lampiran 4. <i>Datasheet</i> Sensor PZEM-004T	146
Lampiran 5. <i>Datasheet</i> Sensor ZMPT101B	153
Lampiran 6. <i>Datasheet</i> Sensor Gravity <i>Current</i> 20A.....	155
Lampiran 7. <i>Datasheet</i> Relai Omron MY2N	157
Lampiran 8. <i>Datasheet</i> Relai Sngle 5V DC	177
Lampiran 9. Bukti Fisik Tugas Akhir	179
Lampiran 10. Logbook Tugas Akhir.....	182