

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PESEMBAHAN.....	vi
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR PERSAMAAN.....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxii
ABSTRAK.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	5
1.5.1 Bagi Penulis.....	5
1.5.2 Bagi Masyarakat.....	5
1.5.3 Bagi Lembaga.....	5

1.6	Metodelogi.....	6
1.7	Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir.....	7
BAB II LANDASAN TEORI.....		10
2.1	Tinjauan Pustaka.....	10
2.2	Dasar Teori.....	12
2.2.1	Sistem Tenaga Listrik.....	12
2.2.2	Gardu Induk.....	15
2.2.2.1	Pemtus Tenaga (PMT).....	18
2.2.2.2	Pemisah (PMS).....	20
2.2.3	Busbar Ganda.....	22
2.2.4	Sistem Proteksi.....	23
2.2.4.1	Perangkat Sistem Proteksi.....	24
2.2.4.2	Persyaratan Sistem Proteksi.....	25
2.2.5	Proteksi Transformator.....	26
2.2.5.1	Gangguan pada Transformator.....	26
2.2.5.2	Sistem Proteksi Transformator.....	28
2.2.6	<i>Over Current Relay</i>	30
2.2.6.1	Jenis OCR.....	30
2.2.6.2	Prinsip Kerja OCR.....	32
2.2.6.3	<i>Setting</i> Kinerja OCR.....	33
2.2.7	Peralatan Simulasi.....	35
2.2.7.1	Transformator.....	35
2.2.7.2	Rectifier.....	42

2.2.7.3	Filter.....	44
2.2.7.4	Voltage Regulator.....	46
2.2.7.5	Switch.....	51
2.2.7.6	Mikrokontroler <i>Arduino Mega 2560</i>	52
2.2.7.7	IC ULN 2803.....	56
2.2.7.8	Relay 12 VDC.....	58
2.2.7.9	<i>Buzzer</i>	60
2.2.7.10	Sensor Arus ACS712.....	60
2.2.7.11	Rangkaian Debouncer.....	63

BAB III CARA KERJA SIMULASI *OVER CURRENT*

***RELAY* MENGGUNAKAN KARAKTERISTIK**

***STANDARD INVERSE* SEBAGAI PROTEKSI**

BAY TRANSFORMATOR PADA GARDU INDUK

150 KV DENGAN KONFIGURASI DOUBLE

BUSBAR BERBASIS *ARDUINO MEGA*

2560..... 65

3.1	Blok Diagram	65
3.2	Rangkaian Masing-Masing Blok.....	67
3.2.1	Rangkaian Catu Daya.....	67
3.2.2	Rangkaian Sensor Arus ACS712.....	70
3.2.3	Rangkaian <i>Debouncer</i>	72
3.2.4	Rangkaian Mikrokontroler <i>Arduino Mega 2560</i>	74
3.2.5	Rangkaian <i>Driver Relay</i> ULN 2803.....	77

3.2.6	<i>Relay</i> OMRON MY2N 12V.....	79
3.2.7	Ethernet Shield.....	80
3.2.8	Rangkaian <i>Buzzer</i>	81
3.2.9	Rangkaian Gangguan.....	82
3.2.10	Rangkaian Beban.....	83
3.3	Cara Kerja Alat Keseluruhan.....	83
3.3.1	Rangkaian Keseluruhan.....	83
3.3.2	Cara Kerja Alat Simulasi.....	83
3.4	<i>Flowchart</i> Alat Simulasi.....	92
 BAB IV PEMBUATAN SIMULASI OVER CURRENT		
RELAY MENGGUNAKAN KARAKTERISTIK		
STANDARD INVERSE SEBAGAI POTEKSI BAY		
TRANSFORMATOR PADA GARDU INDUK 150		
KV DENGAN KONFIGURASI DOUBLE BUSBAR		
BERBASIS ARDUINO MEGA 2560.....		
.....93		
4.1	Perencanaan Pembuatan Alat.....	93
4.1.1	Desain Alat Simulasi.....	93
4.1.2	Alat dan Bahan Pembuatan Alat.....	97
4.2	Pembuatan Rangkaian Elektrik.....	101
4.2.1	Rangkaian Catu Daya.....	101
4.2.2	Rangkaian Kontrol dan Beban.....	103
4.2.3	Rangkaian <i>Debouncer</i>	107
4.2.4	Rangkaian Gangguan.....	108

4.2.5	Langkah-Langkah Pembuatan Rangkaian.....	110
4.2.6	Langkah-Langkah Perakitan Alat.....	116
4.3	Pembuatan Perangkat Lunak.....	119
4.3.1	Perangkat Lunak Arduino.....	119
4.3.2	Perangkat Lunak VT SCADA.....	127
4.3.3	Perangkat Lunak Data <i>Logger</i>	130
BAB V UJI COBA ALAT SIMULASI.....		132
5.1	Pengukuran Alat.....	132
5.1.1	Rangkaian Catu Daya.....	133
5.1.2	Rangkaian <i>Debouncer</i>	136
5.1.3	Rangkaian Sensor Arus.....	141
5.1.4	Rangkaian <i>Driver Relay</i> dan <i>Relay</i>	143
5.2	Pengujian Alat.....	148
5.2.1	Keadaan Normal.....	148
5.2.2	Keadaan Gangguan.....	151
5.2.3	Analisa Hasil Pengujian.....	156
BAB VI PENUTUP.....		163
6.1	Kesimpulan.....	163
6.2	Saran.....	164

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Sistem Ketenagalistrikan.....	13
Gambar 2-2 Gardu Induk 150kV.....	15
Gambar 2-3 <i>Single Line</i> Gardu Induk 150 kV.....	16
Gambar 2-4 PMT <i>Three Pole</i>	19
Gambar 2-5 PMT <i>Single Pole</i>	19
Gambar 2-6 Pemutus Tenaga.....	20
Gambar 2-7 <i>Single Line</i> Penempatan PMS.....	21
Gambar 2-8 Pemisah.....	21
Gambar 2-9 <i>Single Line</i> Gardu Induk <i>Double Busbar</i>	22
Gambar 2-10 Rangkaian Perangkat Sistem Proteksi.....	24
Gambar 2-11 Pola Proteksi Transformator TT.....	29
Gambar 2-12 Perbandingan Beberapa Karakteristik Relai <i>Inverse</i>	32
Gambar 2-13 Pengawatan Prinsip Kerja OCR.....	33
Gambar 2-14 Konstruksi Transformator.....	36
Gambar 2-15 Bagian–Bagian Transfomator Tenaga.....	38
Gambar 2-16 Transformator Tenaga.....	39
Gambar 2-17 Rangkaian Pada CT.....	40
Gambar 2-18 Transformator Arus	41
Gambar 2-19 Prinsip Kerja Transformator Tegangan.....	41
Gambar 2-20 Transformator Tegangan.....	42
Gambar 2-21 Dioda Penyearah.....	42

Gambar 2-22 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh.....	43
Gambar 2-23 Bentuk Gelombang <i>Output</i>	44
Gambar 2-24 Rangkaian <i>Filter</i> menggunakan Kapasitor.....	45
Gambar 2-25 Gelombang Output Filter.....	45
Gambar 2-26 Susunan Kaki Ic Regulator 78xx.....	46
Gambar 2-27 Rangkaian IC Voltage Regulator.....	46
Gambar 2-28 Rangkaian Dioda Zener.....	48
Gambar 2-29 Saklar dan Simbol Saklar.....	52
Gambar 2-30 Pinout Diagram <i>Arduino Mega 2560</i>	53
Gambar 2-31 Pin IC ULN 2803.....	56
Gambar 2-32 Transistor <i>Darlington</i> dalam IC ULN 2803.....	57
Gambar 2-33 Bagian-Bagian <i>Relay</i> dan Simbolnya.....	58
Gambar 2-34 <i>Relay</i> DPDT Menggerakkan 2 Beban.....	59
Gambar 3-35 Simbol <i>Buzzer</i>	60
Gambar 2-36 Konfigurasi Pin ACS712.....	61
Gambar 2-37 Rangkaian RC <i>Debouncer</i> dan <i>Outputnya</i>	63
Gambar 2-38 Pin dan Rangkaian IC 7414LS.....	64
Gambar 3-1 Diagram Blok Simulasi.....	65
Gambar 3-2 Rangkaian Catu Daya.....	67
Gambar 3-3 Konfigurasi Pin ACS712.....	70
Gambar 3-4 Rangkaian Sensor Arus ACS712.....	71
Gambar 3-5 Rangkaian <i>Debouncer</i>	73
Gambar 3-6 Skema Rangkaian <i>Debouncer</i> saat <i>Push Button</i> Tidak	

ditekan.....	73
Gambar 3-7 Skema Rangkaian <i>Debouncer</i> saat <i>Push Button</i> ditekan.....	74
Gambar 3-8 Rangkaian Mikrokontroler <i>Arduino Mega 2560</i>	75
Gambar 3-9 <i>Design Schematic Driver Relay ULN 2803</i>	77
Gambar 3-10 Skema ULN 2803 ketika Pin Masukan Berlogika <i>Low</i>	78
Gambar 3-11 Skema ULN 2803 Ketika Pin Masukan Berlogika <i>High</i>	79
Gambar 3-12 Relai MY2N.....	80
Gambar 3-13 Bagian-Bagian <i>Buzzer</i>	81
Gambar 3-14 Rangkaian <i>Buzzer</i>	81
Gambar 3-15 Rangkaian Gangguan Bay Transformator.....	82
Gambar 3-16 Rangkaian Beban Bay Transformator.....	83
Gambar 3-17 <i>Wiring 3 Fasa OCR GFR</i>	84
Gambar 3-18 <i>Wiring 3 Fasa Prinsip Kerja OCR</i>	84
Gambar 3-19 <i>OCR Dalam 1 Fasa</i>	86
Gambar 3-20 <i>Flowchart Alat Simulasi OCR</i>	92
Gambar 4-1 Desain Alat Simulasi 3D.....	93
Gambar 4-2 Desain Alat Simulasi Tampak Depan.....	94
Gambar 4-3 Peletakan Komponen Dan Rangkaian Elektronika.....	96
Gambar 4-4 Rangkaian Catu Daya 12 V DC Dan 5 V DC.....	102
Gambar 4-5 Rangkaian Catu Daya 12 VDC.....	103
Gambar 4-6 Rangkaian <i>Schematic Driver Relay ULN2803</i>	104
Gambar 4-7 Rangkaian <i>Driver Relai</i> pada Alat Simulasi.....	105

Gambar 4-8 Rangkaian Relai pada Alat Simulasi.....	105
Gambar 4-9 <i>Schematic</i> Rangkaian Sensor Arus dengan Beban Terpasang.....	106
Gambar 4-10 Rangkaian Sensor Arus <i>Allegro Current Sensor</i> (ACS) 712 pada Alat Simulasi.....	106
Gambar 4-11 Beban yang digunakan pada Alat Simulasi.....	107
Gambar 4-12 <i>Schematic</i> Rangkaian <i>Debouncer</i>	108
Gambar 4-13 Rangkaian <i>Debouncer</i> pada Alat Simulasi.....	108
Gambar 4-14 <i>Shcematic</i> Rangkaian Gangguan.....	109
Gambar 4-15 Rangkaian Gangguan pada Alat Simulasi.....	110
Gambar 4-16 Desain <i>Board</i> pada <i>Software Eagle 7.1.0</i>	111
Gambar 4-17 Desain <i>Board</i> Siap Cetak.....	111
Gambar 4-18 Penempelan Kertas Desain <i>Board</i> pada PCB.....	112
Gambar 4-19 Pengolesan <i>Lotion</i> Anti Nyamuk pada PCB.....	112
Gambar 4-20 Menggosok Permukaan Kertas.....	113
Gambar 4-21 Memotong PCB Menggunakan Gergaji.....	113
Gambar 4-22 Melarutkan Tembaga Pada PCB Menggunakan Larutan $FeCl_3$	114
Gambar 4-23 Mengamplas PCB.....	114
Gambar 4-24 Melubangi PCB Menggunakan Bor.....	115
Gambar 4-25 Menyolder Komponen.....	115
Gambar 4-26 Menguji Komponen yang Telah Terpasang pada PCB.....	116
Gambar 4-27 Memasang Komponen Pada Papan.....	117

Gambar 4-28 Melubangi <i>Box</i> Menggunakan Bor Listrik.....	117
Gambar 4-29 Pengkabelan (<i>Wiring</i>) Komponen.....	118
Gambar 4-30 Memasang Stiker.....	118
Gambar 4-31 Tampak Depan Alat Simulasi.....	119
Gambar 4-32 Membuka Aplikasi <i>Arduino IDE</i>	119
Gambar 4-33 Memilih <i>Board Arduino Mega 2560</i>	120
Gambar 4-34 Memilih <i>Port</i>	120
Gambar 4-35 Proses <i>Compiling Sketch</i>	126
Gambar 4-36 Proses <i>Uploading Sketch</i>	127
Gambar 4-37 Proses <i>Uploading</i> Berhasil.....	127
Gambar 4-38 Membuka Aplikasi VT SCADA.....	128
Gambar 4-39 Tampilan Awal VT SCADA.....	128
Gambar 4-40 <i>Loading Progress</i>	128
Gambar 4-41 Halaman <i>Page Menu</i>	129
Gambar 4-42 Desain Tampilan di VT SCADA.....	129
Gambar 4-43 Tampilan Pembuatan Tags.....	129
Gambar 4-44 <i>Alarms, Reports & Diagnotis</i>	130
Gambar 4-45 Halaman <i>Tag Selector</i>	130
Gambar 4-46 <i>Time Span</i> dan <i>Data Mode & Time Per Record</i>	131
Gambar 4-47 Halaman <i>Historical Data Viewer</i> Menampilkan Data.....	131
Gambar 5-1 Titik Ukur Rangkaian Catu Daya 12 VDC dan 5 VDC.....	134
Gambar 5-2 Titik Ukur Rangkaian <i>Debouncer</i> Saat <i>Push Button</i> Tidak Ditekan.....	137

Gambar 5-3 Titik Ukur Rangkaian <i>Debouncer</i> Saat <i>Push Button</i> Ditekan.....	137
Gambar 5-4 Titik Ukur Rangkaian Sensor Arus ACS712 Beban Off.....	142
Gambar 5-5 Titik Ukur Rangkaian Sensor Arus ACS712 Beban On... ..	142
Gambar 5-6 Titik Ukur Rangkaian <i>Driver Relay</i>	144
Gambar 5-7 Gambar Rangkaian PMT HV dan PMT LV ON dan Lampu Indikator Menyala.....	148
Gambar 5-8 Alat Simulasi PMT PMT HV dan PMT LV ON dan Lampu Indikator Menyala.....	149
Gambar 5-9 Rangkaian ketika Lampu Beban L1,L2, dan L3 ON.....	149
Gambar 5-10 Beban L1, L2, dan L3 ON.....	150
Gambar 5-11 Mengaktifkan mode proteksi OCR	151
Gambar 5-12 Memutar Saklar Gangguan untuk Memberi Gangguan Arus Lebih,.....	152
Gambar 5-13 Menghitung waktu kerja OCR menggunakan <i>Stopwatch</i>	152
Gambar 5-14 Rangkaian OCR bekerja sehingga PMT LV <i>Open</i> , Lampu Indikator dan Lampu Beban Mati.....	153
Gambar 5-15 OCR bekerja sehingga PMT LV <i>Open</i> , Lampu Indikator dan Lampu Beban Mati pada Alat Simulasi.....	156
Gambar 5-16 <i>Annunciator</i> OCR aktif.....	154
Gambar 5-17 Menekan <i>Push Button Silent, AcknowledgeI</i> , kemudian <i>Reset</i> untuk mematikan <i>Buzzer</i> dan <i>Annunciator</i>	154
Gambar 5-18 Tampilan <i>Data Logger</i>	161

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	K dan α Karakteristik <i>Inverse</i>	35
Tabel 2-2	Karakteristik 78xx.....	49
Tabel 2-3	Spesifikasi <i>Arduino Mega 2560</i>	54
Tabel 2-4	Pin Out Diagram ACS712.....	62
Tabel 3-1	Pin Analog Sensor ACS712 <i>Arduino Mega 2560</i>	72
Tabel 4-1	Keterangan Gambar Desain Alat Simulasi Tampak Depan.....	94
Tabel 4-2	Bahan Pembuatan Rangkaian Alat Simulasi.....	97
Tabel 4-3	Peralatan Pembuatan Rangkaian Alat Simulasi.....	99
Tabel 4-4	Komponen Catu Daya.....	101
Tabel 4-5	Daftar Komponen Rangkaian Utama.....	104
Tabel 4-6	Komponen Rangkaian <i>Debouncer</i>	107
Tabel 4-7	Komponen Rangkaian Gangguan.....	109
Tabel 5-1	Alat Ukur yang Digunakan.....	132
Tabel 5-2	Hasil Pengukuran Catu Daya 12 VDC.....	135
Tabel 5-3	Hasil Pengukuran Catu Daya 5 VDC.....	135
Tabel 5-4	Hasil Pengukuran <i>Supply</i> Tegangan Rangkaian <i>Debouncer</i>	138
Tabel 5-5	Hasil Pengukuran Tegangan <i>Input</i> dan <i>Output</i> Rangkaian	

	<i>Debouncer</i>	139
Tabel 5-6	Hasil Pengukuran Sensor Arus ACS712 Beban <i>Off</i>	143
Tabel 5-7	Hasil Pengukuran Sensor Arus ACS712 Beban <i>On</i>	143
Tabel 5-8	Hasil Pengukuran Rangkaian <i>Driver Relay</i>	145
Tabel 5-9	Hasil Pengukuran <i>Input</i> dan <i>Output</i> Rangkaian <i>Driver Relay</i>	146
Tabel 5-10	Hasil Pengukuran Alat Simulasi Keadaan Normal.....	151
Tabel 5-11	Hasil Pengukuran pada Bay Transformator.....	156
Tabel 5-12	Tabel Hasil Pengukuran dan Hasil Perhitungan.....	160

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2-1	Iset (primer).....	33
Persamaan 2-2	Iset (sekunder).....	34
Persamaan 2-3	TMS.....	24
Persamaan 2-4	E_1	37
Persamaan 2-5	E_2	37
Persamaan 2-6	Perbandingan transformasi (a) tidak berbeban.....	37
Persamaan 2-7	Perbandingan transformasi berbeban.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Rangkaian Keseluruhan
- Lampiran 2** List Program Arduino
- Lampiran 3** *Arduino Mega 2560*
- Lampiran 4** ACS712
- Lampiran 5** *Relay OMRON*
- Lampiran 6** ULN2803
- Lampiran 7** LM7812
- Lampiran 8** LM7805
- Lampiran 9** IC 7414
- Lampiran 10** Cara Pengoperasian Alat