

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
INTISARI	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan	6
1.5 Manfaat Penulisan	7
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	8
2.1 Tinjauan Pustaka	8
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	10
2.2.2 Motor Pompa	12
2.2.3 <i>Starting</i> Motor Induksi	18
2.2.4 Klasifikasi Jenis Motor Berdasarkan Pelayanan	21
2.2.5 Pompa Sentrifugal	22
2.2.6 <i>Boiler Feed Pump</i> (BFP)	22
2.2.7 Gangguan Sistem Kelistrikan	23
2.2.8 Proteksi Kelistrikan Pada Motor	31

2.2.9 <i>Single Line Diagram</i> Posisi Relay Proteksi Motor	37
2.2.10 Peralatan Proteksi Pada Motor	38
2.2.11 <i>Management Relay GE Multilin SR 469</i>	45
2.2.12 <i>Item Relay</i> Proteksi Motor	48
2.2.13 Pengujian <i>Management Relay</i>	54
2.2.14 Koordinasi Sistem Proteksi Tenaga Listrik	55
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	58
3.1 Sistem Kelistrikan PLTU PT PLN Nusantara Power UP Gresik	58
3.2 Sistem Proteksi <i>Boiler Feed Pump</i>	64
3.3 Metode Pengujian <i>Management Relay GE Multilin SR 469</i> Dengan Perangkat Omicron CMC 356	66
3.3.1 Penentuan Nilai <i>Setting</i>	70
3.3.2 Langkah Kerja Pengujian <i>Management Relay GE Multilin SR 469</i>	70
3.4 Metode Simulasi <i>Short-Circuit Analysis</i> dari <i>Single Line Diagram</i> Beban Motor <i>Boiler Feed Pump</i> 4A Dengan Software ETAP 12.6	72
3.5 Metode Simulasi <i>Motor Analysis Analysis</i> dari <i>Single Line Diagram</i> Beban Motor <i>Boiler Feed Pump</i> 4A Dengan Software ETAP 12.6	76
3.6 Metode Simulasi Koordinasi Sistem Proteksi Beban Motor <i>Boiler Feed Pump</i> 4A Dengan Software ETAP 12.6	78
3.7 Metode Penelitian	80
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	84
4.1 Pembahasan <i>Metering Test (Phase Current)</i>	84
4.1.1 Perhitungan Nilai <i>Setting</i>	84
4.1.2 Hasil Pengujian <i>Metering Test</i>	85
4.1.3 Perhitungan Nilai Error	85
4.2 Pembahasan <i>Metering Test (Phase Voltage)</i>	86
4.2.1 Perhitungan Nilai <i>Setting</i>	86
4.2.2 Hasil Pengujian <i>Metering Test</i>	87
4.2.3 Perhitungan Nilai Error	88
4.3 Pembahasan <i>Metering Test (Power)</i>	89

4.3.1 Perhitungan Nilai <i>Setting</i>	89
4.3.2 Hasil Pengujian <i>Metering Test</i>	90
4.3.3 Perhitungan Nilai Error	90
4.4 Pembahasan <i>Item Relay Test (Overload Relay (49))</i>	91
4.4.1 Perhitungan dan Penentuan Niali <i>Setting</i> Injeksi Arus	91
4.4.2 Hasil Pengujian <i>Item Relay Test</i>	93
4.4.3 Grafik Karakteristik	94
4.4.4 Perhitungan Nilai Error	95
4.5 Pembahasan <i>Item Relay Test (Phase Overcurrent Relay (50P))</i>	96
4.5.1 Perhitungan dan Penentuan Niali <i>Setting</i> Injeksi Arus	96
4.5.2 Hasil Pengujian <i>Item Relay Test</i>	97
4.5.3 Perhitungan Nilai Error	97
4.6 Pembahasan <i>Item Relay Test (Ground Fault Relay (51G))</i>	98
4.6.1 Perhitungan dan Penentuan Niali <i>Setting</i> Injeksi Arus	98
4.6.2 Hasil Pengujian <i>Item Relay Test</i>	98
4.6.3 Perhitungan Nilai Error	99
4.7 Pembahasan <i>Item Relay Test (Acceleration Time Relay (Acc))</i>	99
4.7.1 Perhitungan dan Penentuan Niali <i>Setting</i> Injeksi Arus	99
4.7.2 Hasil Pengujian <i>Item Relay Test</i>	100
4.7.3 Perhitungan Nilai Error	100
4.8 Pembahasan <i>Item Relay Test (Unbalanced Relay (46))</i>	101
4.8.1 Perhitungan dan Penentuan Niali <i>Setting</i> Injeksi Arus	101
4.8.2 Hasil Pengujian <i>Item Relay Test</i>	101
4.8.3 Perhitungan Nilai Error	102
4.9 Pembahasan Simulasi Koordinasi Sistem Proteksi Beban Motor <i>Boiler Feed Pump</i> 4A Menggunakan <i>Software</i> ETAP 12.6	102
BAB V PENUTUP	113
5.1 Kesimpulan	113
5.2 Saran	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Histogram Konsumsi Energi Listrik (GWh) Per-Kapita di Indonesia	2
Gambar 2.1 Diagram Kerja PLTU Unit 4 PT PLN Nusantara Power UP Gresik Berkapasitas 200 MW	11
Gambar 2.2 Siklus Tertutup (<i>Closed System</i>) PLTU	11
Gambar 2.3 Konstruksi Motor Induksi	13
Gambar 2.4 Stator dan <i>Frame</i> Motor Induksi	14
Gambar 2.5 Rotor Sangkar	15
Gambar 2.6 Rotor Lilit	16
Gambar 2.7 Kurva Hubungan Antara Nilai Torsi dan Kecepatan dari Setiap Jenis Level Motor	17
Gambar 2.8 Grafik Karakteristik Torsi Motor Standar IEC	19
Gambar 2.9 <i>Boiler Feed Pump</i>	23
Gambar 2.10 Ilustrasi Posisi Relay Untuk Memproteksi Motor	25
Gambar 2.11 Grafik Efek Penurunan Tegangan Terhadap Torsi Motor	26
Gambar 2.12 Periode Arus Gangguan Hubung Singkat	28
Gambar 2.13 Representasi Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah (L-G)	29
Gambar 2.14 Representasi Hubung Singkat Dua Fasa (L-L)	30
Gambar 2.15 Representasi Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah (L-L-G)	30
Gambar 2.16 Ilustrasi Kondisi <i>Open Circuit</i> Pada Salah Satu dari Dua Fasa Transformator Daya	33
Gambar 2.17 Perbandingan Kurva <i>Heating Motor</i> , <i>Thermal Overload Relay</i> , dan <i>Overcurrent Relay</i>	34
Gambar 2.18 Diagram Karakteristik Relay Jarak Untuk Proteksi Kondisi <i>Locked Rotor</i>	35
Gambar 2.19 <i>Single Line Diagram</i> Posisi Relay Proteksi Motor	37
Gambar 2.20 Komponen Penggerak Kontak PMT <i>Magne Blast Circuit Breaker</i> (MBCB) dengan Penggerak Solenoid	39
Gambar 2.21 <i>Magne Blast Circuit Breaker</i> Dengan Penggerak Selenoid	40

Gambar 2.22 Kontak Pemutus <i>Magne Blast Circuit Breaker</i>	40
Gambar 2.23 <i>Current Transformator</i>	41
Gambar 2.24 <i>Potential Transformator</i>	42
Gambar 2.25 <i>Electromagnetic Relay</i>	43
Gambar 2.26 Diagram Kerja Relay Digital	44
Gambar 2.27 Perangkat <i>Management Relay GE Multilin SR 469</i>	45
Gambar 2.28 <i>Single Line Diagram Management Relay GE Multilin SR 469</i>	46
Gambar 2.29 Tampilan Lampu Indikator Kondisi Kerja <i>Management Relay GE Multilin SR 469</i>	47
Gambar 2.30 <i>User Interface Management Relay GE Multilin SR 469</i>	47
Gambar 2.31 Kurva Karakteristik Relay Arus Lebih Jenis <i>Instantaneous</i>	49
Gambar 2.32 Kurva Karakteristik Relay Arus Lebih Jenis <i>Definite Time</i>	50
Gambar 2.33 Kurva Karakteristik Relay Arus Lebih Jenis <i>Invers Time</i>	51
Gambar 2.34 Zona Kerja Relay Primer Dalam Melakukan Mekanisme Sistem	56
Gambar 3.1 <i>Key Oneline Diagram</i> PLTU Unit 4 PT PLN Nusantara Power UP Gresik	59
Gambar 3.2 Lokasi PLTU Unit 4 PT PLN Nusantara Power UP Gresik	60
Gambar 3.3 <i>Auxiliary</i> Transformator PLTU Unit 4 PT PLN Nusantara Power UP Gresik	60
Gambar 3.4 <i>Nameplate Auxiliary</i> Transformator	61
Gambar 3.5 <i>Oneline Diagram Switchgear</i> M/C 4,16 kV	61
Gambar 3.6 Tampilan Lemari Kubikel <i>Switchgear</i> M/C 4,16 kV	64
Gambar 3.7 <i>Nameplate Boiler Feed Pump</i> (BFP) 4A	64
Gambar 3.8 <i>Single Line Diagram Management Relay GE 469</i>	66
Gambar 3.9 <i>Interface</i> Omicron CMC 356	68
Gambar 3.10 Omicron CMC 356	68
Gambar 3.11 Kabel Komunikasi RJ45	69
Gambar 3.12 Kabel <i>Jumper</i> Berjenis <i>Retractable Sleeve</i>	69
Gambar 3.13 <i>Catridge Port</i>	70
Gambar 3.14 Diagram Kerja Pengujian <i>Management Relay GE Multilin SR 469</i>	72
Gambar 3.15 Tampilan Fitur “ <i>Elements</i> ” Pada <i>Software</i> ETAP 12.6	73

Gambar 3.16 Tampilan Bagian “Edit” Pada “Project Toolbar” Software ETAP 12.6	73
Gambar 3.17 Permodelan <i>Single Line Diagram</i> Simulasi Gangguan Arus Lebih ETAP 12.6	75
Gambar 3.18 Tampilan Bagian “Short-Circuit Analysis” dan Fitur “Report Manager”, Run 3-Phase, LL, LL, LLG (1,5 – 4 cycle)” dan “Run 3-Phase, LL, LL, LLG (30 cycle)” Software ETAP 12.6	75
Gambar 3.19 <i>Online Diagram</i> PLTU Unit 4 PT PLN Nusantara Power UP Gresik	76
Gambar 3.20 <i>Single Line Diagram</i> yang Mewakili Sistem Proteksi <i>Boiler Feed Pump 4A</i> Untuk Simulasi ETAP 12.6	77
Gambar 3.21 Tampilan Fitur “motor acceleration analysis” dan “run static motor running” Software ETAP 12.6	78
Gambar 3.22 Permodelan <i>Single Line Diagram</i> Simulasi Koordinasi Sistem Proteksi ETAP 12.6	79
Gambar 3.23 Tampilan Bagian “Protective Device Coordination” Fitur “Star Create View” Software ETAP 12.6	80
Gambar 3.24 <i>Flowchart</i> Metode Penelitian	81
Gambar 4.1 Tabel <i>Standard Overload Curve Multipliers Management Relay GE Multilin SR 469</i>	93
Gambar 4.2 Grafik Karakteristik <i>Overload Relay</i> Berdasarkan Hasil Pengujian	94
Gambar 4.3 Grafik Karakteristik <i>Overload Relay</i> Berdasarkan Nilai <i>Expected Time</i>	95
Gambar 4.4 Perbandingan Grafik Karakteristik <i>Overload Relay</i> Berdasarkan Hasil Pengujian dan Nilai <i>Expected Time</i>	95
Gambar 4.6 <i>Single Line Diagram</i> PLTU Unit 4 PT PLN Nusantara Power UP Gresik Untuk Simulasi <i>Short Circuit Analysis</i> ETAP 12.6	104
Gambar 4.7 <i>Single Line Diagram</i> Koordinasi Sistem Proteksi Beban Motor <i>Boiler Feed Pump 4A</i>	108
Gambar 4.8 Hasil Simulasi Koordinasi Sistem Proteksi Beban Motor <i>Boiler Feed Pump 4A</i> dengan Kondisi Gangguan Ada di Beban Motor	109
Gambar 4.9 Grafik Motor <i>Line Current</i> Beban Motor <i>Boiler Feed Pump 4A</i>	110
Gambar 4.10 Grafik TCC Koordinasi Sistem Proteksi Beban Motor BFP 4A	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kode <i>Starting Motor</i>	20
Tabel 2.2 Keterangan Kode <i>Item Relay</i>	38
Tabel 2.3 <i>Item Relay Management Relay GE Multilin SR 469</i>	46
Tabel 2.4 Nilai <i>Setting Management Relay GE Multilin SR 469 Untuk Item Acceleration Time Relay</i>	49
Tabel 2.5 Konstanta Persamaan Waktu Kerja <i>Overcurrent Relay</i>	51
Tabel 2.6 Nilai <i>Setting Management Relay GE Multilin SR 469 Untuk Item Phase Overcurrent Relay</i>	52
Tabel 2.7 Nilai <i>Setting Management Relay GE Multilin SR 469 Untuk Item Thermal Overload Relay</i>	52
Tabel 2.8 Nilai <i>Setting Management Relay GE Multilin SR 469 Untuk Item Unbalanced Relay</i>	53
Tabel 2.9 Nilai <i>Setting Management Relay GE Multilin SR 469 Untuk Item Ground Fault Relay</i>	54
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Switchgear 4,16 kV</i>	62
Tabel 3.2 Nama Beban dan Kapasitas Daya	62
Tabel 3.3 Tabel Fungsi dari Beban <i>Switchgear M/C 4,16 kV</i>	63
Tabel 3.4 Spesifikasi <i>Boiler Feed Pump (BFP) 4A</i>	65
Tabel 3.5 Parameter Komponen <i>Single Line Diagram BFP 4A Simulasi ETAP 12.6</i>	74
Tabel 4.1 Hasil Pengujian <i>Metering Test Phase Current</i>	85
Tabel 4.2 Nilai Error dari <i>Metering Test Phase Current</i>	86
Tabel 4.3 Hasil Pengujian <i>Metering Test Phase Voltage</i>	87
Tabel 4.4 Nilai Error dari <i>Metering Test Phase Voltage</i>	88
Tabel 4.5 Hasil Pengujian <i>Metering Test Power</i>	90
Tabel 4.6 Nilai Error dari <i>Metering Test Power</i>	91
Tabel 4.7 Nilai Arus Injeksi (<i>Injected Current</i>)	92
Tabel 4.8 Nilai Waktu Trip Seharusnya (<i>Expected Time</i>)	92
Tabel 4.9 Hasil Pengujian <i>Item Relay Test Untuk Overload Relay (49)</i>	94

Tabel 4.10 Nilai Error <i>Item Relay Test</i> Untuk <i>Item Overload Relay</i>	96
Tabel 4.11 Nilai Aktual <i>Item Phase Overcurrent Relay</i> (50P)	96
Tabel 4.12 Hasil Pengujian <i>Item Relay Test</i> Untuk <i>Item Overcurrent Relay</i> (50P)	97
Tabel 4.13 Nilai Error <i>Item Relay Test</i> Untuk <i>Item Phase Overcurrent Relay</i> (50P)	97
Tabel 4.14 Nilai Aktual <i>Item Ground Fault Relay</i> (51G)	98
Tabel 4.15 Hasil Pengujian <i>Item Relay Test</i> Untuk <i>Item Overcurrent Relay</i> (51G)	98
Tabel 4.16 Nilai Error <i>Item Relay Test</i> Untuk <i>Item Ground Fault Relay</i> (51G)	99
Tabel 4.17 Nilai Aktual <i>Item Acceleration Time Relay</i> (Acc)	99
Tabel 4.18 Hasil Pengujian <i>Item Relay Test</i> Untuk <i>Item Acceleration Time Relay</i> (Acc)	100
Tabel 4.19 Nilai Error <i>Item Relay Test</i> Untuk <i>Item Acceleration Time Relay</i> (Acc)	100
Tabel 4.20 Nilai Aktual <i>Item Acceleration Time Relay</i> (Acc)	101
Tabel 4.21 Besaran Nilai Arus Injeksi	101
Tabel 4.22 Hasil Pengujian <i>Item Relay Test</i> Untuk <i>Item Unbalanced Relay</i> (46)	102
Tabel 4.23 Nilai Error <i>Item Relay Test</i> Untuk <i>Item Phase Unbalanced Relay</i> (46)	102
Tabel 4.25 Hasil Simulasi <i>Short-Circuit Analysis</i> Menggunakan <i>Software ETAP 12.6</i>	103

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Pengantar Magang MBKM	119
Lampiran 2 Surat Balasan Magang MBKM	120
Lampiran 3 Form Uji <i>Management Relay GE Multilin SR 469</i>	122
Lampiran 4 Foto Alat Injeksi Arus dan Tegangan Omicron CMC 356	125
Lampiran 5 Foto Pengujian <i>Management Relay GE Multilin SR 469</i>	125
Lampiran 6 <i>One Line Diagram</i> PLTU PT PLN Nusantara Power	126
Lampiran 7 Grafik Plot Koordinasi Sistem Proteksi <i>Boiler Feed Pump 4A</i>	127
Lampiran 8 <i>Single Line Diagram</i> Untuk Simulasi Koordinasi Sistem Proteksi	128
Lampiran 9 <i>Single Line Diagram</i> PLTU Unit 4	129
Lampiran 10 Hasil Simulasi <i>Load Flow Analysis</i>	130
Lampiran 11 Grafik Nilai Arus Saat Kondisi <i>Starting Motor</i>	130
Lampiran 12 Hasil Simulasi <i>Short Circuit Analysis</i> (Isc Min. – Busbar 15 kV)	131
Lampiran 13 Hasil Simulasi <i>Short Circuit Analysis</i> (Isc Min. – Busbar M/C 4,16 kV)	131
Lampiran 14 Hasil Simulasi <i>Short Circuit Analysis</i> (Isc Max. – Busbar M/C 4,16 kV)	132
Lampiran 15 Hasil Simulasi <i>Short Circuit Analysis</i> (Isc Min. – Busbar M/C 15 kV)	132