

## DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
MOTTO.....	iv
PERSEMBAHAN .....	v
PRAKATA .....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
(HALAMAN DAFTAR TABEL) .....	xix
INTISARI.....	xxi
(HALAMAN ABSTRACT).....	xxii
BAB I .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Maksud dan Tujuan .....	3
D. Batasan Masalah.....	4
E. Metodologi Pengumpulan Data .....	4
F. Sistematika Penulisan .....	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Substation/Gardu Induk .....	7
1. Pengertian Umum.....	7
2. Klasifikasi Gardu Listrik.....	7

3. Peralatan dan Fasilitas Gardu Induk. ....	11
B. Transformator.....	12
1. Pengertian umum .....	12
2. Prinsip Kerja .....	13
3. Bagian-Bagian Utama Pada Transformator .....	14
4. Peralatan Bantu Transformator .....	18
C. <i>Switchgear</i> .....	21
1. Pengertian Umum.....	21
2. Kontruksi <i>Switchgear</i> .....	21
D. Kapasitor Bank.....	26
1. Pengertian Umum.....	26
2. Jenis-jenis Kapasitor Bank.....	28
3. Cara Kerja Kapasitor Bank .....	29
4. Rumus Penentuan Nilai Kapasitor Bank.....	31
E. Current Transformator (CT).....	32
F. OCR (Over Current Relay) .....	33
1. Pengertian OCR .....	33
2. Prinsip Kerja OCR .....	33
3. Jenis-jenis OCR.....	34
4. Karakteristik OCR.....	34
5. Perhitungan Setelan Rele setting Arus Lebih (Iset) .....	37
G. Kabel .....	39
1. Pengertian umum .....	39
2. Jenis kabel umum dalam instalasi listrik.....	41
3. Pemilihan Luas Penampang Penghantar .....	44
H. ETAP.....	45
BAB III.....	45
A. Desain awal Overall Single Line Diagram.....	47

B. Target Desain <i>Overall Single Line Diagram</i> .....	48
C. Perancangan Transformator .....	49
1. Single line Transformator .....	49
2. Permodelan Trasnformator.....	49
D. Perancangan Panel <i>Switchgear</i> MV .....	50
1. Single line diagram Switchgear MV .....	50
2. Panel <i>Switchgear</i> MV .....	51
E. Perancangan Panel <i>Switchgear</i> LV.....	52
1. <i>Single line diagram switchgear</i> LV .....	52
2. Panel <i>Switchgear</i> MV .....	53
F. Perancangan Capacitor Bank .....	54
1. <i>Single line diagram Capacitor Bank</i> .....	54
2. <i>Panel Capacitor Bank</i> .....	55
G. Perancangan Ruang <i>Substation</i> .....	56
1. Desain Ruangan .....	56
2. Aspek K3 dalam <i>substation</i> .....	57
H. Pemilihan dan Perhitungan Transformator .....	58
1. Penentuan Jenis Kerja Transformator Yang Digunakan .....	58
2. Penentuan Hubungan Tiga Fase Transformator.....	58
3. Penentuan Kapasitas Daya Terpasang .....	59
4. Pemilihan daya Transformator .....	61
5. Pemilihan pendingin Transformator .....	61
6. Perhitungan Arus Nominal pada transformator .....	63
I. Pemilihan dan Perhitungan <i>Switchgear</i> MV .....	65
1. Pemilihan Busbar MV .....	66
2. Penentuan <i>Breaker</i> .....	67
3. Pemilihan Sensor Arus .....	69
4. Penentuan Sensor Tegangan .....	70
J. Pemilihan dan Perhitungan <i>Switchgear</i> LV .....	71

1. Pemilihan Busbar LV .....	72
2. Penentuan <i>Breaker pada sisi Incoming LV</i> .....	73
3. Menentukan breaker (MCCB) pada sisi Outgoing LV .....	75
4. Menentukan Kontaktor LV .....	79
5. Menentukan Sensor Arus .....	81
K. Pemilihan dan Perhitungan Capacitor Bank .....	82
L. Perhitungan Kabel pada <i>Substation LTP 7.5.3</i> .....	84
1. KHA kabel 1 .....	87
2. KHA kabel 2 .....	88
3. KHA kabel 3 .....	88
4. KHA kabel 4 .....	88
5. KHA kabel 5 .....	89
6. KHA kabel 6 .....	89
7. KHA kabel 7 .....	90
8. KHA kabel 8 .....	90
9. KHA kabel 9 .....	90
BAB IV .....	92
A. Simulasi Perancangan Pada ETAP 7.6.....	92
B. Analisis Load Flow .....	103
1. Drop Tegangan.....	104
2. Losses Daya .....	106
C. Analisis <i>Capacitor Bank</i> .....	110
D. Setting Koordinasi Proteksi .....	115
E. Analisa Koordinasi Proteksi.....	127
1. Menghitung Rele Arus Lebih.....	127
2. Simulasi Koordinasi Proteksi.....	130
F. Evaluasi pemilihan Komponen .....	142
BAB V .....	143

A. Kesimpulan .....	143
B. Saran.....	144

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gardu Transmisi milik PLN .....	8
Gambar 2.2 Gardu Distribusi milik PLN .....	8
Gambar 2.3 single busbar .....	10
Gambar 2.4 double busbar .....	10
Gambar 2.5 <i>AC in AC Out Primary secondary</i> trafo .....	12
Gambar 2.6 Elektromagnetik pada trafo .....	14
Gambar 2.7 Inti Besi .....	15
Gambar 2.8 Coil Dry Type Transformator .....	15
Gambar 2.9 Coil Dry Type Transformator .....	16
(Sumber : researchgate.net) .....	16
Gambar 2.10 Bushing .....	17
(Sumber : panduanteknisi.com) .....	17
Gambar 2.11 Tangki Konservator .....	17
Gambar 2.12 Fan Transformator .....	18
(Sumber : wecome-electric.com) .....	18
Gambar 2.13 Dehydrating Breather .....	20
(Sumber : panduanteknisi.com) .....	20
Gambar 2.14 Kompartemen pada Kubikel .....	22
Gambar 2.15 Simbol Digram CB/PMT .....	25
Gambar 2.16 Kapasitor Bank .....	28
Gambar 2.17 Koneksi Kapasitor Y tunggal .....	30
Gambar 2.18 Koneksi Kapasitor Y Dobel .....	30
Gambar 2.19 Koneksi Kapasitor Bridge .....	31

Gambar 2.20 Rangkaian Trafo Arus (CT) .....	32
Gambar 2.21 Alstom P10 OCR pada <i>Switchgear</i> .....	33
Gambar 2.22 Instantaneous Relay .....	34
Gambar 2.23 Definite Time Relay .....	35
Gambar 2.24 Inverse Time Relay .....	35
Gambar 2.25 Kabel NYA .....	41
Gambar 2.26 Kabel NYM .....	41
Gambar 2.27 Kabel NYAF .....	42
Gambar 2.28 Kabel NYY .....	42
Gambar 2.29 Kabel NYFGbY .....	43
Gambar 2.30 Kabel ACSR .....	43
Gambar 2.31 Kabel AAAC .....	44
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Perancangan perancangan evaluasi desain .....	46
Gambar 3.2 Overall Single Line Diagram <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	47
Gambar 3.3 Target Desain Baru <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	48
Gambar 3.4 <i>Single Line Diagram</i> Transformator Daya <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	49
Gambar 3.5 Perancangan Transformator Daya <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	49
Gambar 3.6 Single Line Diagram MVMDP <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	50
Gambar 3.7 Panel MVDP <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	51
Gambar 3.8 Single Line Diagram MVMDP <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	52
Gambar 3.9 Panel <i>Switchgear</i> LV <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	53
Gambar 3.10 Single Line Diagram Capacitor Bank <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	54
Gambar 3.11 Panel <i>Capacitor Bank</i> <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	55
Gambar 3.12 Desain Ruang <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	56

Gambar 3.13 Desain Kompartmen <i>Switchgear</i> MV <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	65
Gambar 3.14 Desain Kompartmen <i>Switchgear</i> MV <i>Substation</i> LTP 7.5.3 .....	71
Gambar 3.15 Single Line Diagram untuk penentuan KHA <i>Substation</i> LTP 7.5.3.....	84
Gambar 4.1 Project IEC ETAP 12.6 .....	92
Gambar 4.2 Icon Power Grid .....	92
Gambar 4.3 Setting Grid (1).....	93
Gambar 4.4 Setting Grid (2).....	93
Gambar 4.5 Penambahan CB Incoming .....	94
Gambar 4.6 Setting CB .....	94
Gambar 4.7 Penambahan Bus MV .....	95
Gambar 4.8 Penambahan CB Outgoing dan Kabel 1 .....	95
Gambar 4.9 Konfigurasi Kabel 1 .....	96
Gambar 4.10 Penambahan Transformator .....	96
Gambar 4.11 Pengaturan Transfrimator (1) .....	97
Gambar 4.12 Pengaturan Transfrimator (2) .....	97
Gambar 4.13 Penambahan Kabel 2 dan ACB .....	98
Gambar 4.14 Pengaturan ACB.....	98
Gambar 4.15 Penambahan BUSS MV, MCCB dan Kabel 3 .....	99
Gambar 4.16 Pengaturan MCCB 1 atau CB kelompok beban 1 .....	100
Gambar 4.17 Pengaturan Kabel kelompok beban 1 .....	100
Gambar 4.18 Penambahan Motor 1.....	101
Gambar 4.19 Pengaturan Motor kelompok Beban 1 .....	101
Gambar 4.20 Rancangan akhir substation 6 kV LTP 7.5.3 Departemen Pengelolaan Pelabuhan PT. Petrokimia Gresik.....	102



Gambar 4.21 <i>Single Line Diagram</i> Hasil <i>Load Flow</i> .....	103
Gambar 4.22 <i>Single Line Diagram</i> Section 1 losses daya.....	106
Gambar 4.23 <i>Report Manager</i> Tranformer.....	107
Gambar 4.24 <i>Single Line Diagram</i> Section 2 losses daya.....	108
Gambar 4.25 Pengubahan Cosphi beban (Contoh Motor 1) .....	111
Gambar 4.26 Hasil <i>Load Flow</i> Setelah Dilakukan Perubahan Cosphi .....	111
Gambar 4.27 Rangkain <i>Capacitor Bank</i> .....	112
Gambar 4.28 Setting Rating Kapasitor Bank .....	113
Gambar 4.29 Pemasangan Kapasitor Bank pada Rangkaian .....	113
Gambar 4.30 <i>Load Flow</i> Setelah Dilakukan Pemasangan <i>Capasitor Bank</i> .....	114
Gambar 4.31 Penamaan setiap CB untuk koordinasi .....	115
Gambar 4.32 <i>Load Flow</i> Arus.....	117
Gambar 4.33 Icon <i>Short Circuit Analysis</i> .....	118
Gambar 4.34 Icon Setting <i>Short Circuit Analysis</i> .....	118
Gambar 4.35 <i>Setting Short Circuit Analysis</i> .....	118
Gambar 4.36 Rangkaian <i>Short Circuit Analysis</i> .....	119
Gambar 4.37 Pemasangan <i>Current Transformator</i> pada Jaringan.....	120
Gambar 4.38 Pengaturan Nilai CT .....	121
Gambar 4.39 Penambahan OCR .....	122
Gambar 4.40 Pengaturan <i>Library OCR</i> .....	122
Gambar 4.41 Pengaturan OCR pada Jaringan A.....	125
Gambar 4.42 Salah Satu Contoh Meng- <i>Input</i> Koordinasi OCR pada CB .....	126
Gambar 4.43 Pembagian Zona Trip .....	128
Gambar 4.44 Analisis Gangguan pada <i>Zone 4</i> .....	128

Gambar 4.45 Simulasi Gangguan di Zona 4 .....	130
Gambar 4.46 Grafik Waktu Simulasi Trip di Zona 4.....	130
Gambar 4.47 Hasil Simulasi ETAP Gangguan Zona 4 .....	131
Gambar 4.48 Waktu Trip Ketika Gangguan Zona 4 dari Grafik ETAP .....	132
Gambar 4.49 Simulasi Gangguan di Zona 3 .....	133
Gambar 4.50 Grafik Waktu Simulasi Trip di Zona 3.....	133
Gambar 4.51 Hasil Simulasi ETAP Gangguan Zona 3 .....	134
Gambar 4.52 Waktu Trip Ketika Gangguan Zona 3 dari Grafik ETAP .....	135
Gambar 4.53 Simulasi Gangguan di Zona 2 .....	136
Gambar 4.54 Grafik Waktu Simulasi Trip di Zona 2.....	136
Gambar 4.55 Hasil Simulasi ETAP Gangguan Zona 2 .....	137
Gambar 4.56 Waktu Trip Ketika Gangguan Zona 2 dari Grafik ETAP .....	138
Gambar 4.57 Simulasi Gangguan di Zona 1 .....	139
Gambar 4.58 Grafik Waktu Simulasi Trip di Zona 1 .....	139
Gambar 4.59 Hasil Simulasi ETAP Gangguan Zona 1 .....	140
Gambar 4.60 Waktu Trip Ketika Gangguan Zona 1 dari Grafik ETAP .....	141

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor $\alpha$ dan $\beta$ tergantung pada kurva arus terhadap waktu .....	37
Tabel 3.1 Jumlah Daya Semu <i>Substation</i> 6 KV LTP 7.5.3 .....	60
Tabel 3.2 Hasil Perhitungan Arus Nominal Transformator .....	63
Tabel 3.3 Spesifikasi Transformator <i>Substation</i> 6 KV LTP 7.5.3 .....	64
Tabel 3.4 Standart Ukuran CU Busbar MV berdasarkan DIN-43671 .....	66
Tabel 3.5 Pemilihan Besaran Arus Breaker MV .....	68
Tabel 3.6 Ukuran CT yang digunakan .....	69
Tabel 3.7 Pemilhan PT pada MV .....	70
Tabel 3.8 Standart Ukuran CU Busbar LV berdasarkan DIN-43671 .....	72
Tabel 3.9 nilai breaker yang dijual dipasaran .....	74
Tabel 3.10 Breaker pada Outgoing LV .....	74
Tabel 3.11 Daya Aktif dan Semu Setiap Beban .....	75
Tabel 3.12 Breaker pada Outgoing LV .....	78
Tabel 3.13 Nilai kontaktor yang dijual di pasaran .....	79
Tabel 3.14 Ukuran CT yang digunakan .....	81
Tabel 3.15 Tabel Kuat hantar Arus (KHA) 3 <i>core</i> .....	85
Tabel 3.16 Tabel Kuat hantar Arus (KHA) 4 <i>core</i> .....	86
Tabel 3.17 daya yang mengalir pada setiap kabel .....	87
Tabel 3.18 Hasil perhitungan kabel pada <i>substation</i> 6 KV LTP 7.5.3 .....	91
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Drop Tegangan Desain Baru .....	104
Tabel 4.2 Hasil Drop Tegangan Pada Desain Lama .....	105
Tabel 4.3 Perbandingan Drop Tegangan Desain Baru dan Desain Lama .....	105
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Losses Daya Desain Baru .....	109

Tabel 4.5 Hasil Drop Tegangan Pada Desain Lama .....	109
Tabel 4.6 Perbandingan Losses Daya Desain Baru dan Desain Lama.....	110
Tabel 4.7 Hasil perbandingan saat cosphi 0,65 dengan 0,8 pada busbar sisi sekunder trafo.....	112
Tabel 4.8 Perhitungan daya setiap titik jaringan .....	116
Tabel 4.9 Perhitungan arus nominal setiap titik jaringan.....	116
Tabel 4.10 nilai iset yang di dapat dari load flow analisis .....	117
Tabel 4.11 nilai iset yang di dapat dari load flow analisis .....	119
Tabel 4.12 Nilai <i>Current Transformator</i> .....	120
Tabel 4.13 Nilai Pickup Setiap Jaringan .....	123
Tabel 4.14 Time Grading OCR Tiap Jaringan .....	124
Tabel 4.15 Nilai Time Dial Setiap Jaringan.....	125
Tabel 4.16 Pemilihan koordinasi OCR pada CB.....	126
Tabel 4.17 Waktu Kerja Trip di Zona 4 .....	131
Tabel 4.18 Waktu Kerja Trip di Zona 3 .....	134
Tabel 4.19 Waktu Kerja Trip di Zona 2 .....	137
Tabel 4.20 Waktu Kerja Trip di Zona 1 .....	140
Tabel 4.21 Hasil evaluasi dari komponen utama .....	142