

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Penyaluran Energi Listrik (Cristof, 2008).....	6
Gambar 2.2 Sistem Tenaga Listrik (Cristof, 2008)	7
Gambar 2.3 Tiang Sudut (PT. PLN, 2014)	8
Gambar 2.4 Tiang Transposisi (PT. PLN, 2014).....	9
Gambar 2.5 Tiang Portal (PT. PLN, 2014)	9
Gambar 2.6 Tiang Kombinasi (PT. PLN, 2014)	9
Gambar 2.7 Tiang Pole (Sumber: PT. PLN, 2014).....	10
Gambar 2.8 Tiang Delta (PT. PLN, 2014).....	11
Gambar 2.9 Tiang Zig-Zag (PT. PLN, 2014).....	11
Gambar 2.10 Tiang Piramida (PT. PLN, 2014).....	12
Gambar 2.11 Tiang Lattice (PT. PLN, 2014).....	12
Gambar 2.12 (a) Gelombang Tegangan DC (b) Gelombang Tegangan AC (c) Gelombang Tegangan Impuls (Zoro, 2018).....	13
Gambar 2.13 Ilustrasi tegangan lebih petir pada tegangan sinusoid (Zoro, 2018)	14
Gambar 2.14 Tegangan Lebih Hubung (Zoro, 2018)	15
Gambar 2.15 Perbandingan Kurva Antara Tegangan Lebih Hubung Dan Tegangan Lebih Petir (Zoro, 2018)	15
Gambar 2.16 Hubung Singkat Satu Fasa (Zoro, 2018).....	16
Gambar 2.17 Perbandingan Antara Tegangan Lebih Surja Petir, Tegangan Lebih Surja Hubung Dan Tegangan Lebih Sementara (Zoro, 2018).....	16
Gambar 2.18 Tipe Petir Berdasarkan Muatannya (Zoro, 2018).....	20
Gambar 2.19 Tipe Petir Berdasarkan Pergerakannya (Zoro, 2018)	21
Gambar 2.20 Awan CB saat akan terjadi sambaran petir (Zoro, 2018).....	22

Gambar 2.21 (a) Pelopor Awal (B) Titik Sambar (Jarak Sambar = D) (C) Sambaran Petir Dan Pukulan Balik (Zoro, 2018).....	22
Gambar 2.22 Gelombang surja petir (Zoro, 2018)	24
Gambar 2.23 Tipe-tipe arus sambaran (Zoro, 2018)	26
Gambar 2.24 Gelombang Surja Arus Dan Tegangan (standar IEC 62305/2006) (Zoro, 2018).....	27
Gambar 2.25 Arus Puncak Parameter Petir (Zoro, 2018)	28
Gambar 2.26 Fenomena pelelehan pada metal/logam (Zoro, 2018)	28
Gambar 2.27 Kecuraman Gelombang Arus Petir (Zoro, 2018)	29
Gambar 2.28 Parameter Petir (Zoro, 2018).....	29
Gambar 2.29 Gelombang Surja Petir Pada Kawat Fasa (Zoro, 2018).....	32
Gambar 2.30 Sambaran Petir Pada Menara (Zoro, 2018).....	33
Gambar 2.31 Ilustrasi VM (Zoro, 2018)	33
Gambar 2.32 Sambaran Pada Menara Dengan Tanah Kawat (Zoro, 2018).....	35
Gambar 2.33 Jenis Menara Transmisi (a) Jenis Persegi (b) Jenis Gantry (c) Jenis Korset (Hutahuruk, 1991)	36
Gambar 2.34 Transmision Line Arrester (TLA) (PT. PLN, 2014).....	41
Gambar 2.35 Bentuk Gelombang AC Transien.....	44
Gambar 2.36 Kurva Resistansi Statis.....	44
Gambar 2.37 Kurva Karakteristik Varistor	45
Gambar 2.38 Kontruksi Metal Oxide Varistor	48
Gambar 2.39 Kontruksi Metal Oxide Varistor	50
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian	51
Gambar 3.2 (a) Menara Transmisi 150 kV GI Garut – GI Darajat (b) Rangkaian Ekuivalen Menara Transmisi.....	55
Gambar 3.3 Isolator Kaca 150 kV	57
Gambar 3.4 Menara Transmisi 150 kV Tanpa TLA.....	59

Gambar 3.5 Menara Transmisi 150 kV dengan TLA	59
Gambar 3.6 Model Rangkaian Menara Transmisi 150 kV pada ATPDraw tanpa TLA.....	60
Gambar 3.7 Model rangkain menara transmisi 150 kV pada ATPDraw dengan Transmission Line Surge Arrester (TLA)	60
Gambar 3.8 Model Kawat Fasa pada ATPDraw	61
Gambar 3.9 Model Kawat Tanah pada ATPDraw.....	61
Gambar 3.10 Model Isolator Pada simulasi ATPDraw	61
Gambar 3.11 Model TLA Pada simulasi ATPDraw.....	62
Gambar 3.12 Parameter Metal Oxide Varistor (MOV)	62
Gambar 3.13 Karakteristik TLA.....	63
Gambar 3.14 Model Pentanahan Menara Pada Simulasi ATPDraw	63
Gambar 3.15 Parameter LCC	64
Gambar 3.16 Parameter Data LCC	65
Gambar 3.17 Main Window ATP-Draw.....	67
Gambar 4.1 Rangkain pengujian simulasi sambaran petir	68
Gambar 4.2 Rangkain pengujian simulasi sambaran petir dengan TLA	68
Gambar 4.3 Bentuk Gelombang Sumber Tegangan 150 kV.....	69
Gambar 4.4 Sambaran 30 kA Pada Ground Wire 1.2 μ s/50 μ s	70
Gambar 4.5 Sambaran 30 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state	71
Gambar 4.6 Sambaran 30 kA Pada Ground Wire 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA.....	72
Gambar 4.7 Sambaran 30 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	72
Gambar 4.8 Sambaran 40 kA Pada Ground Wire 1.2 μ s/50 μ s	73
Gambar 4.9 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state	74

Gambar 4.10 Sambaran 40 kA Pada Ground Wire 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA.....	75
Gambar 4.11 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	75
Gambar 4.12 Sambaran 50 kA Pada Ground Wire 1.2 μ s/50 μ s	76
Gambar 4.13 Sambaran 50 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state	77
Gambar 4.14 Sambaran 50 kA Pada Ground Wire 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA.....	78
Gambar 4.15 Sambaran 50 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	79
Gambar 4.16 Grafik Induksi Sambaran Petir Terhadap Ground Wire pada Phasa R,S,T	80
Gambar 4.17 Grafik Induksi Sambaran Petir Terhadap Ground Wire pada Phasa R,S,T dengan dan tanpa TLA.....	85
Gambar 4.18 Grafik Induksi Sambaran Petir Terhadap Ground Wire pada Phasa R,S,T dengan TLA.....	85
Gambar 4.19 Sambaran 30 kA Pada Phasa R 1.2 μ s/50 μ s	86
Gambar 4.20 Sambaran 30 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Phasa R menuju steady state ...	87
Gambar 4.21 Sambaran 30 kA phasa R 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA.....	88
Gambar 4.22 Sambaran 30 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	89
Gambar 4.23 Sambaran 40 kA Pada phasa R 1.2 μ s/50 μ s.....	90
Gambar 4.24 Gambar 4. 24 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Phasa R menuju steady state	91
Gambar 4.25 Sambaran 40 kA Pada phasa R 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA	92
Gambar 4.26 Sambaran 30 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	93
Gambar 4.27 Sambaran 50 kA Pada phasa R 1.2 μ s/50 μ s.....	94
Gambar 4.28 Sambaran 50 kA Pada Phasa R 1.2 μ s/50 μ s	94

Gambar 4.29 Sambaran 50 kA Pada fasa R 1.2 μ s/50 μ s dengan dengan TLA .	95
Gambar 4.30 Sambaran 40 kA Pada fasa R 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA	96
Gambar 4.31 Grafik kenaikan tegangan lebih sambaran pada Fasa R 1.2 μ s-50 μ s.....	97
Gambar 4.32 Grafik Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s Pada Ground Wire	102
Gambar 4.33 Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state	103
Gambar 4.34 Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s Pada Ground Wire dengan TLA....	104
Gambar 4.35 Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	104
Gambar 4.36 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire	105
Gambar 4.37 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state	106
Gambar 4.38 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire dengan TLA....	107
Gambar 4.39 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	107
Gambar 4.40 Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s Pada Ground Wire	108
Gambar 4.41 Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state	109
Gambar 4.42 Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s Pada Ground Wire dengan TLA.....	109
Gambar 4.43 Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	101
Gambar 4.44 Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s Pada Ground Wire	111
Gambar 4.45 Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state	111
Gambar 4.46 Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s Pada Ground Wire dengan TLA.....	112

Gambar 4.47 Grafik perbandingan simulasi pada sambaran petir terhadap Ground Wire dengan dan tanpa Transmission Line Surge Arrester (TLA) waktu muka bervariasi dan waktu ekor 50 μ s	113
Gambar 4.48 Sambaran 40 kA Pada Fasa R 0.5 μ s/50 μ s	115
Gambar 4.49 Sambaran 40 kA 0.5 μ s/50 μ s Pada Fasa R menuju steady state .	115
Gambar 4.50 Sambaran 40 kA fasa R 0.5 μ s/50 μ s dengan TLA.....	116
Gambar 4.51 Sambaran 40 kA fasa R 0.5 μ s/50 μ s dengan TLA.....	117
Gambar 4.52 Sambaran 40 kA Pada Fasa R 1.2 μ s/50 μ s	118
Gambar 4.53 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Fasa R menuju steady state ..	118
Gambar 4.54 Sambaran 40 kA fasa R 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA.....	119
Gambar 4.55 Sambaran 40 kA fasa R 1.2 μ s/50 μ s dengan TLA.....	120
Gambar 4.56 Sambaran 40 kA Pada Fasa R 3 μ s/50 μ s	120
Gambar 4.57 Sambaran 40 kA 3 μ s/50 μ s Pada Fasa R menuju steady state	121
Gambar 4.58 Sambaran 40 kA fasa R 3 μ s/50 μ s dengan TLA	122
Gambar 4.59 Sambaran 40 kA fasa R 3 μ s/50 μ s dengan TLA	123
Gambar 4.60 Sambaran 40 kA Pada Fasa R 5 μ s/50 μ s	124
Gambar 4.61 Sambaran 40 kA 5 μ s/50 μ s Pada Fasa R menuju steady state	124
Gambar 4.62 Sambaran 40 kA fasa R 5 μ s/50 μ s dengan TLA	125
Gambar 4.63 Sambaran 40 kA fasa R 5 μ s/50 μ s dengan TLA	126
Gambar 4.64 Grafik perbandingan simulasi pada sambaran petir terhadap Fasa R dengan dan tanpa Transmission Line Surge Arrester (TLA) waktu muka bervariasi dan waktu ekor 50 μ s	127
Gambar 4.65 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Pada Ground Wire	129
Gambar 4.66 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Pada Ground Wire menuju steady state	129
Gambar 4.67 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Pada Ground Wire dengan TLA	130

Gambar 4.68 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	131
Gambar 4.69 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire	131
Gambar 4.70 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state	132
Gambar 4.71 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire dengan TLA....	132
Gambar 4.72 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	133
Gambar 4.73 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Pada Ground Wire.....	134
Gambar 4.74 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Pada Ground Wire menuju steady state	134
Gambar 4.75 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Pada Ground Wire dengan TLA..	135
Gambar 4.76 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	135
Gambar 4.77 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Pada Ground Wire.....	136
Gambar 4.78 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Pada Ground Wire menuju steady state	136
Gambar 4.79 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Pada Ground Wire dengan TLA..	137
Gambar 4.80 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Pada Ground Wire menuju steady state dengan TLA.....	137
Gambar 4.81 Grafik perbandingan simulasi pada sambaran petir terhadap Ground Wire dengan dan tanpa TLA waktu muka 1.20 μ s dan waktu ekor bervariasi	138
Gambar 4.82 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Phasa R.....	140
Gambar 4.83 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Phasa R menuju steady state.....	140
Gambar 4.84 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Phasa R.....	141
Gambar 4.85 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/30 μ s Phasa R menuju steady state.....	141
Gambar 4.86 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Phasa R.....	142

Gambar 4.87 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Phasa R menuju steady state.....	142
Gambar 4.88 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Phasa R.....	143
Gambar 4.89 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/50 μ s Phasa R menuju steady state.....	143
Gambar 4.90 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Phasa R.....	144
Gambar 4.91 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Phasa R menuju steady state.....	145
Gambar 4.92 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Phasa R.....	145
Gambar 4.93 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/100 μ s Phasa R menuju steady state.....	146
Gambar 4.94 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Phasa R.....	146
Gambar 4.95 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Phasa R menuju steady state.....	147
Gambar 4.96 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Phasa R.....	147
Gambar 4.97 Sambaran 40 kA 1.2 μ s/200 μ s Phasa R menuju steady state.....	148
Gambar 4.98 Grafik perbandingan dari simulasi pada sambaran petir terhadap phasa R dengan dan tanpa Transmission Line Surge Arrester (TLA) waktu muka 1.2 μ s dan waktu ekor bervariasi	149