UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Tingkat Bahaya Sambaran Petir First Positive dengan Lightning Protection Level I pada Sistem Grounding Lapangan Upacara Bendera
Muhammad Hidayat, Prof. Ir. Tumiran, M. Eng., Ph. D., IPU.; Ir. Bambang Sugiyantoro, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR SINGKATAN xv
INTISARI xvi
ABSTRACT xvii
BAB I Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Batasan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori 6
2.1 Tinjauan Pustaka 6
2.2 Dasar Teori 7
2.2.1 Karakteristik Fisis dan Elektris Petir 7
2.2.1.1 Jenis-Jenis Sambaran Petir 7
2.2.1.2 Tahapan Pelepasan Petir *Cloud-to-Ground* 9
2.2.1.3 Karakteristik Arus Sambaran *Cloud-to-Ground* 10
2.2.1.4 Standar dan Pemodelan Matematis Arus Impuls Petir ... 12
2.2.1.5 Pemodelan Arus Petir Fungsi Heidler - Sinus Ekuivalen 16
2.2.2 *Lightning Protection Level* (LPL) 18
2.2.2.1 Konsep LPL 18
2.2.2.2 Klasifikasi LPL dan Parameter Arus Desain 19
2.2.2.3 Pengaruh LPL terhadap Respon Transien Sistem *Grounding* 20
2.2.2.4 Pertimbangan Teknis Pemilihan LPL I 20
2.2.3 Metode *Rolling Sphere* dalam Penentuan Zona Proteksi 21
2.2.3.1 Dasar Teoretis dan Prinsip Geometris 21
2.2.3.2 Parameter dan Standar 21

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Tingkat Bahaya Sambaran Petir First Positive dengan Lightning Protection Level I pada Sistem Grounding Lapangan Upacara Bendera
Muhammad Hidayat, Prof. Ir. Tumiran, M. Eng., Ph. D., IPU.; Ir. Bambang Sugiyantoro, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.3.3 Aplikasi pada Lapangan Upacara 22
2.2.4 Sistem Proteksi Petir 22
2.2.4.1 Sistem Proteksi Eksternal 23
2.2.4.2 Sistem Proteksi Internal 24
2.2.5 Sistem *Grounding* pada Proteksi Petir 25
2.2.5.1 Jenis Elektroda dalam Sistem *Grounding* 25
2.2.5.2 Desain Geometris Sistem *Grounding* 26
2.2.5.3 Metode Perhitungan dan Analisis Sistem Grounding 27
2.2.5.4 Resistansi Sistem *Grounding* 32
2.2.6 Karakteristik Tanah dan Resistivitas 33
2.2.6.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Resistivitas Tanah .. 34
2.2.6.2 Metode Pengukuran Resistivitas Tanah 37
2.2.6.3 *Multilayer Soil Model* 38
2.2.7 Parameter Keselamatan Sistem *Grounding* 39
2.2.7.1 *Ground Potential Rise* (GPR) 39
2.2.7.2 *Touch Voltage* 41
2.2.7.3 *Step Voltage* 42
2.2.7.4 *Limit Step Voltage* dan *Touch Voltage* 43
2.2.8 Konsep Titik Referensi dan *Remote Earth* 44
2.2.8.1 Karakteristik Distribusi Potensial dan Kondisi *Remote Earth* 45
2.2.8.2 Implementasi Konsep *Remote Earth* dalam Simulasi Numerik 46
2.2.8.3 Penentuan Titik Referensi pada Studi Lapangan Upacara 46
2.2.9 Perangkat Lunak Simulasi XGSLab 47
BAB III Metode Penelitian 48
3.1 Alat dan Bahan Tugas akhir 48
3.1.1 Alat Tugas akhir 48
3.1.2 Bahan Tugas akhir 48
3.1.2.1 Desain Sistem *Grounding* Lapangan Upacara 49
3.1.2.2 Spesifikasi *Grounding* Lapangan Upacara 50
3.1.2.3 Karakteristik Resistivitas Tanah Lapangan Upacara 51
3.1.2.4 Penentuan Titik Referensi Ideal 56
3.1.2.5 Analisis Zona Proteksi Menggunakan Metode *Rolling Sphere* 58
3.2 Metode yang Digunakan 59
3.3 Alur Tugas Akhir 59
3.4 Pemodelan Sistem *Grounding* Lapangan Upacara 62
3.4.1 Sistem Eksisting 62

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Tingkat Bahaya Sambaran Petir First Positive dengan Lightning Protection Level I pada Sistem Grounding Lapangan Upacara Bendera
Muhammad Hidayat, Prof. Ir. Tumiran, M. Eng., Ph. D., IPU.; Ir. Bambang Sugiyantoro, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.4.1.1 Pemodelan pada AutoCAD 62
3.4.1.2 Input Parameter Simulasi pada XGSLab 64
3.4.2 Perubahan Kerapatan *Mesh* 68
3.4.2.1 Pemodelan pada AutoCAD 68
3.4.2.2 Input Parameter Simulasi pada XGSLab 70
3.4.3 Perubahan Jarak Elektroda *Rod* 70
3.4.3.1 Pemodelan pada AutoCAD 70
3.4.3.2 Input Parameter Simulasi pada XGSLab 72
3.4.4 Pemasangan Elektroda *Rod* di Tiang Bendera 72
3.4.4.1 Pemodelan pada AutoCAD 72
3.4.4.2 Input Parameter Simulasi pada XGSLab 74
3.4.5 Pemasangan Tiang Penangkal Petir 74
3.4.5.1 Pemodelan pada AutoCAD 75
3.4.5.2 Input Parameter Simulasi pada XGSLab 78
3.5 Pemodelan Karakteristik Tanah 79
3.6 Pemodelan Arus Impuls Petir pada Domain Frekuensi 81
3.7 Implementasi Parameter Arus Impuls ke dalam XGSLab 82
3.8 Proses Verifikasi dan Validasi Model 84
3.8.1 Validasi Model Sistem Eksisting 85
3.8.2 Validasi Model Perubahan Kerapatan *Mesh* 86
3.8.3 Validasi Model Perubahan Jarak Elektroda *Rod* 87
3.8.4 Validasi Model Pemasangan Elektroda *Rod* di Tiang Bendera 87
3.8.5 Validasi Model Pemasangan Tiang Penangkal Petir 88
BAB IV Hasil dan Pembahasan 91
4.1 Sistem Eksisting 91
4.1.1 Evaluasi Kerapatan *Mes*h dan Jarak *Rod* 91
4.1.2 Analisis *Ground Potential Rise (GPR)* 91
4.1.3 Analisis *Touch Voltage* 93
4.1.4 Analisis *Step Voltage* 94
4.1.5 Evaluasi Tingkat Bahaya 94
4.2 Perubahan Kerapatan *Mesh* 95
4.2.1 Analisis *Ground Potential Rise* (GPR) 95
4.2.2 Analisis *Touch Voltage* 97
4.2.3 Analisis *Step Voltage* 97
4.3 Perubahan Jarak Elektroda *Rod* 98
4.3.1 Analisis *Ground Potential Rise (GPR)* 98
4.3.2 Analisis *Touch Voltage* 100
4.3.3 Analisis *Step Voltage* 100
4.4 Perlakuan pada Area Tiang Bendera 101

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Tingkat Bahaya Sambaran Petir First Positive dengan Lightning Protection Level I pada Sistem Grounding Lapangan Upacara Bendera
Muhammad Hidayat, Prof. Ir. Tumiran, M. Eng., Ph. D., IPU.; Ir. Bambang Sugiyantoro, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.4.1 Pemasangan Elektroda *Rod* di Tiang Bendera 101
4.4.1.1 Analisis *Ground Potential Rise* (GPR) 101
4.4.1.2 Analisis *Touch Voltage* 103
4.4.1.3 Analisis *Step Voltage* 103
4.4.2 Pemasangan Tiang Penangkal Petir 104
4.4.2.1 Analisis *Ground Potential Rise* (GPR) 104
4.4.2.2 Analisis *Touch Voltage* 108
4.4.2.3 Analisis *Step Voltage* 109
4.5 Perbandingan Kinerja Sistem Eksisting, Perubahan Kerapatan *Mesh* dan Jarak Antar *Rod*, serta Perlakuan pada Area Tiang Bendera 110
4.5.1 Perbandingan *Ground Potential Rise* (GPR) 110
4.5.1.1 Evaluasi GPR pada Titik Injeksi 110
4.5.1.2 Evaluasi GPR pada Tiang Bendera 112
4.5.1.3 Analisis Karakteristik Gradien Tegangan 113
4.5.2 Perbandingan *Touch Voltage* 114
4.5.2.1 Evaluasi *Touch Voltage* pada Titik Injeksi Arus 115
4.5.2.2 Evaluasi *Touch Voltage* pada Tiang Bendera 116
4.5.2.3 Analisis Distribusi Kontur Bahaya 117
4.5.3 Perbandingan *Step Voltage* 118
4.5.3.1 Perbandingan Nilai Puncak *Step Voltage* 118
4.5.3.2 Evaluasi Keselamatan terhadap Standar 120
BAB V Kesimpulan dan Saran 121
5.1 Kesimpulan 121
5.2 Saran 122
DAFTAR PUSTAKA 123