

**PERBANDINGAN SIMULASI DAN PERHITUNGAN PADA SISTEM
PENTANAHAN KOMBINASI GRID-ROD MENGGUNAKAN APLIKASI
ETAP 12.6.0**



SKRIPSI

**Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

Oleh:

AYU YAYANG SARI

03041181520013

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

LEMBAR PENGESAHAN
PERBANDINGAN SIMULASI DAN PERHITUNGAN PADA SISTEM
PENTANAHAN KOMBINASI *GRID-ROD* MENGGUNAKAN APLIKASI
ETAP 12.6.0



SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarja Teknik
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

AYU YAYANG SARI

03041181520013

Indralaya, Juli 2021

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 197108141999031005

Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 197108141999031005

Saya sebagai Pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dan dalam pandangan saya skop dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana strata satu (S1).

Tanda Tangan : 

Pembimbing Utama : Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.

Tanggal : 28/Juli /2021

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ayu Yayang Sari.
NIM : 03041181520013
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**PERBANDINGAN SIMULASI DAN PERHITUNGAN PADA SISTEM
PENTANAHAN KOMBINASI GRID-ROD MENGGUNAKAN APLIKASI
ETAP 12.6.0**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tulisan saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Indralaya

Pada tanggal: Juli 2021



Ayu Yayang Sari

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ayu Yayang Sari
NIM : 03041181520013
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Universitas Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software *iThenticate/Turnitin*: 14 %

Menyatakan bahwa laporan hasil penelitian saya yang berjudul **“PERBANDINGAN SIMULASI DAN PERHITUNGAN PADA SISTEM PENTANAHAN KOMBINASI GRID-ROD MENGGUNAKAN APLIKASI ETAP 12.6.0”** merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Indralaya, Juli 2021



Ayu Yayang Sari

NIM. 03041181520013

KATA PENGANTAR

Innalhamdalillah, Allahumma sholli 'ala Muhammad. Sebakda tahmid pujian kepada Sang Pencipta; Allah subhanahu wata'ala. Kemudian sholawat pun dihaturkan kepada manusia mulia; Nabi Muhammad shallallahu 'alayhi wasallam.

Adalah Skripsi, atau yang kerap disebut sebagai Tugas Akhir yang menjadi kewajiban bagi para mahasiswa S-1 untuk menyelesaikan studi, kini telah rampung. Proses penulisan Skripsi yang berjudul PERBANDINGAN SIMULASI DAN PERHITUNGAN PADA SISTEM PENTANAHAN KOMBINASI GRID-ROD MENGGUNAKAN APLIKASI ETAP 12.6.0 akhirnya dapat terselesaikan.

Utamanya, banyak pihak yang telah memberikan support selama penulis melaksanakan kehidupan perkuliahan ini. Pertama, Ayah (Almarhum Amirrudin Jaya Kesuma) yang telah berjuang begitu gigih untuk dapat memberikan nafkah kepada kami, selalu mengingatkan kami kepada Allah SWT dan memberikan nasihat kehidupan untuk kami sejak kecil hingga hari akhir ayah. Kemudian Mama (Hartati).

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah membantu hingga selesai tulisan ini;

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T. beserta para staff dan jajarannya.
2. Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
3. Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, Ibu Dr. Herlina, S.T., M.T.
4. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. Beliau telah banyak membantu memberikan saran, masukan dan membantu penulis untuk menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
5. Dosen Penasihat Akademik, Bapak Ir. Ansyori, M.T.
6. Para Dosen dan staff Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya yang telah mengajar hingga memberi nasihat kehidupan selama menjalani perkuliahan.
7. Rekan penulisan tugas akhir, Dodo Nugraha yang telah membantu penulis dalam penyelesaian data tugas akhir ini.

8. Sahabat penulis di Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, Firda Ariati, Alvio Yunita Putri dan Balqis Safarah yang selalu menyemangati penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Teman penulis di Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, Abeng Yogta, Ilham, Sartika Sari, Julia, Day Tri, Kartika Maya Sari, Meindi dan teman-teman penulis lainnya yang tidak bisa penulis tulis namanya satu persatu.
10. Sahabat penulis, Mawar Dianti, Sri Wahyuni, Anggun Nurjannah dan Harmaliza Agustina yang selalu memberikan semangat untuk penulis.
11. Pebran Aji Catur Pratama yang selalu menasehati penulis untuk cepat menyelesaikan wisuda dan mencari kerja agar dapat segera menabung menuju halal.
12. Para Rekan di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Sriwijaya (HME FT Unsri).

Semoga berbagai bantuan yang telah diberikan menjadi amal kebaikan di hadapan Allah dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat menjadi sumbangsih ilmu pengetahuan dalam membangun peradaban.

Palembang, Juli 2021



Ayu Yayang Sari

ABSTRAK
PERBANDINGAN SIMULASI DAN PERHITUNGAN PADA SISTEM
PENTANAHAN KOMBINASI GRID-ROD MENGGUNAKAN APLIKASI
ETAP 12.6.0

(Ayu Yayang Sari, 03041181520013, 2021, 96 halaman)

Gardu induk memiliki fungsi sebagai pusat pengaturan beban, pusat pemulihan dari gangguan, pusat pencatatan besaran listrik dan pusat penurunan atau penaikan tegangan. Oleh sebab itu sistem penyetanahan dari gardu induk harus memiliki standar serta persyaratan yang berlaku untuk melindungi keselamatan bagi manusia, peralatan, lingkungan yang berada di area gardu induk. Sistem pentanahan peralatan gardu induk menggunakan sistem penyetanahan *Grid-Rod* karena dapat menahan arus yang sangat tinggi. Diperlukan suatu analisis terhadap sistem penyetanahan pada gardu induk menggunakan metode perhitungan analitik dan numerik menggunakan perangkat lunak (*software*). Untuk perhitungan analitik, landasan yang digunakan adalah standar IEEE 80-2013 berjudul *IEEE Guide for Safety in AC Substations Grounding*. Untuk numerik, *software* yang digunakan adalah ETAP versi 12.6.0. Riset ini dilakukan dengan tujuan untuk melihat perbandingan dalam aspek keamanan antara perhitungan secara analitik dan numerik menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Apakah Gardu Induk Ideal pada kondisi tanah berbatu dan tanah pegunungan telah sesuai standar IEEE 80-2013. Di sisi lain juga untuk memberikan informasi ke masyarakat luas terkait keamanan Gardu Induk Ideal pada kondisi tanah berbatu dan tanah pegunungan dengan parameter tegangan sentuh dan tegangan langkah. Setelah dilakukan perhitungan analitik dan numerik menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Perhitungan numerik menggunakan *software* ETAP 12.6.0 lebih disarankan dalam segi keamanan karena memiliki keunggulan yang efisien untuk menganalisis dengan mengetahui bagian mana yang memiliki nilai tegangan sentuh atau tegangan langkah yang besar maupun kecil. Gardu Induk Ideal pada kondisi tanah berbatu dan tanah pegunungan telah memenuhi standar aman IEEE 80-2013 karena $A_{\min} < A_{GI}$ dan $d_{\min} < d_{GI}$, $E_m < E_{\text{touch}70}$, $E_s < E_{\text{step}70}$ dan $GPR < E_{\text{touch}70}$.

Kata kunci : sistem pentanahan, tegangan sentuh, tegangan langkah

Indralaya, Juli 2021

Menyetujui,
Pembimbing Utama



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D

NIP. 197108141999031005



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D

NIP. 197108141999031005

ABSTRACT
**COMPARISON OF SIMULATION AND CALCULATIONS ON A GRID-
ROD COMBINATION GROUNDING SYSTEM USING ETAP APP 12.6.0**

(Ayu Yayang Sari, 03041181520013, 2021, 96 pages)

A substation functions as the center of load regulation, the center of fault resurrection, the center of electric quantity recording, and the center of voltage's step up or down. Therefore, the grounding system of substation must have standards and applicable requirements to protect human safety, instruments, and environment that existing in substation area. A grounding system of substation instruments seizes Grid-Rod grounding system, because it can resist a high current. An analysis is needed toward grounding system in substation with using analytical calculation method and numerical calculation by using software. For analytical calculation, the basic standard that used is based on IEEE 80-2013 subtitled IEEE Guide for Safety in AC Substations Grounding. While for numerical calculation, the software that used is ETAP 12.6.0 version. This research aims to compare the safety aspect between analytical calculation and numerical calculation by using ETAP 12.6.0 software either a substation has an ideal condition for rocky or mountain ground area according to IEEE 80-2013 standard. On the other hand, it is needed to inform to public about the ideal safety condition of substation in rocky or mountain ground area condition with the parameters of step and touch potential of voltage. After being calculated with analytical calculation and numerical calculation by using ETAP 12.6.0 software, numerical calculation by using ETAP 12.6.0 software is more recommended in safety aspect because it is more efficient in analyzing to know which part has a big or small value of step and touch potential of voltage. An ideal condition of substation in rocky and mountain ground area has fulfilled the standards secure according to IEEE 80-2013 because $A_{\min} < A_{GI}$ dan $d_{\min} < d_{GI}$, $E_m < E_{\text{touch}70}$, $E_s < E_{\text{step}70}$ and $GPR < E_{\text{touch}70}$.

Keywords: Grounding system, touch voltage, step voltage.



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D

NIP. 197108141999031005

Indralaya, Juli 2021

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D

NIP. 197108141999031005

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR RUMUS	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
NOMENKLATUR	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penulisan	2
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5. Hipotesis	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Sistem Pengetanahan	5
2.2. Klasifikasi Sistem Pengetanahan	6
2.3. Komponen Sistem Pengetanahan	7
2.4. Klasifikasi Desain Sistem Pengetanahan	10
2.5. Tahanan Jenis Tanah	14
2.6. Tahanan Jenis Pengetanahan	18
2.7. Sistem Pengetanahan Gardu Induk	19
2.7.1. Gardu Induk	19

2.7.2.	<i>Konsep dan Fungsi Pengetanahan Gardu Induk</i>	21
2.8.	Potensi Bahaya Tegangan Lstrik.....	22
2.9.	Konsep <i>Finite Element Method</i> (FEM) pada Sistem Pengetanahan.....	23
2.10.	<i>Penelitian Terdahulu</i>	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		31
3.1.	Waktu Penelitian	31
3.2.	Metode Penelitian.....	31
3.3.	Langkah-Langkah Analisis Data	31
3.4.	Data yang akan digunakan	32
3.4.1	Dimensi Konduktor <i>Grid</i> dan Ukuran Penampang Konduktor....	32
3.4.2	Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah pada Gardu Induk	37
3.5.	Simulasi Perancangan Menggunakan ETAP 12.6.0	42
3.6.	Diagram Alir Penelitian	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		51
4.1.	Hasil Identifikasi Data.....	51
4.2.	Pembahasan dan Analisis Data	54
4.2.1.	Perhitungan Analitik	55
4.2.1.1.	Ukuran Penampang Konduktor Pengetanahan.....	55
4.2.1.2.	Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah pada Gardu Induk	57
4.2.1.2.1.	Menentukan Nilai Resistansi Tanah.....	57
4.2.1.2.2.	Menentukan Material Lapisan Tambahan.....	61
4.2.1.2.3.	Menentukan Resistansi Pengetanahan Gardu Induk	61
4.2.1.2.4.	Menentukan Arus Maksimum.....	62
4.2.1.2.5.	Menentukan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah yang Diizinkan	62
4.2.1.2.6.	Menentukan <i>Ground Potential Rise</i> (GPR)	64
4.2.1.2.7.	Menentukan Desain Sistem Pengetanahan.....	64
4.2.1.2.8.	Ringkasan Hasil Perhitungan	68
4.2.2.	Simulasi dengan <i>Software</i> ETAP 12.6.0.....	69
4.2.2.1.	Resistansi Pengetanahan Gardu Induk	70
4.2.2.2.	Arus Maksimum.....	70

4.2.2.3.	<i>Ground Potential Rise (GPR)</i>	70
4.2.2.4.	Tegangan Sentuh	71
4.2.2.5.	Tegangan Langkah	72
4.2.2.6.	Ringkasan Hasil Perhitungan	73
4.3.	Pembahasan dan Analisis Data	74
4.3.1.	Perhitungan Analitik	75
4.3.1.1.	Ukuran Penampang Konduktor Pengetanahan.....	77
4.3.1.2.	Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah pada Gardu Induk	77
4.3.1.2.1.	Menentukan Nilai Resistansi Tanah.....	78
4.3.1.2.2.	Menentukan Material Lapisan Tambahan.....	78
4.3.1.2.3.	Menentukan Resistansi Pengetanahan Gardu Induk	79
4.3.1.2.4.	Menentukan Arus Maksimum.....	79
4.3.1.2.5.	Menentukan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah yang Diizinkan	80
4.3.1.2.6.	Menentukan <i>Ground Potential Rise (GPR)</i>	81
4.3.1.2.7.	Menentukan Desain Sistem Pengetanahan.....	85
4.3.1.2.8.	Ringkasan Hasil Perhitungan	86
4.3.2.	Simulasi dengan <i>Software</i> ETAP 12.6.0.....	87
4.3.2.1.	Resistansi Pengetanahan Gardu Induk.....	87
4.3.2.2.	Arus Maksimum.....	87
4.3.2.3.	<i>Ground Potential Rise (GPR)</i>	87
4.3.2.4.	Tegangan Sentuh.....	87
4.3.2.5.	Tegangan Langkah	88
4.3.2.6.	Ringkasan Hasil Perhitungan	89
4.4.	Hasil Akhir	90
BAB V PENUTUP.....		93
5.1.	Kesimpulan	93
5.2.	Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA		95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Elektroda Batang	8
Gambar 2.2	Konfigurasi Elektroda Pita	9
Gambar 2.3	Elektroda Plat	9
Gambar 2.4	Pentanahan <i>Single Rod</i>	11
Gambar 2.5	Pentanahan <i>Grid</i>	13
Gambar 2.6	Pentanahan <i>Grid-Rod</i>	14
Gambar 2.7	Pengukuran Tahanan Jenis Tanah dengan Metode Empat Titik ..	15
Gambar 2.8	Pengukuran Tahanan Jenis Tanah dengan Metode Tiga Titik	16
Gambar 2.9	Sistem Pentanahan <i>Grid-Rod</i>	23
Gambar 2.10	Kondisi <i>Shock</i> pada Gardu Induk	23
Gambar 2.11	Kondisi Tegangan Sentuh	24
Gambar 2.12	Impedansi dari Sirkuit Tegangan Sentuh	24
Gambar 2.13	Rangkaian Thevenin Tegangan Sentuh.....	25
Gambar 2.14	Kondisi Tegangan Langkah	27
Gambar 2.15	Rangkaian Thevenin Tegangan Langkah	27
Gambar 3.1.	Tampilan kotak dialog <i>project</i> baru pada <i>software</i>	43
Gambar 3.2.	Tampilan kotak dialog <i>User Information</i>	43
Gambar 3.3.	Tampilan mula dari ETAP 12.6.0.....	44
Gambar 3.4.	Tampilan memilih <i>Ground Grid System</i>	44
Gambar 3.5.	Pilihan model dalam <i>Ground Grid Design</i>	45
Gambar 3.6.	Tampilan <i>Ground Grid Design</i>	45
Gambar 3.7.	Tampilan kotak dialog yang untuk <i>Ground Grid System</i>	46
Gambar 3.8.	Tampilan pemilihan desain sistem pengetanahan	46
Gambar 3.9.	Tampilan hasil <i>design</i> sederhana sistem pengetanahan	47
Gambar 3.10.	Tampilan kotak dialog yang muncul untuk desain sistem.	47
Gambar 3.11.	Tampilan Desain Sistem yang telah sesuai pengisian data	48
Gambar 3.12.	Tampilan Dua Dimensi pada <i>Ground Grid System</i>	48
Gambar 3.13.	Tampilan <i>Ground Grid System</i>	49

Gambar 3.14.	Tampilan Hasil Simulasi <i>Ground Grid System</i>	49
Gambar 4.1.	Tampilan dua dimensi Gardu Induk Ideal.....	52
Gambar 4.2.	Tampilan tiga dimensi Gardu Induk Ideal	53
Gambar 4.3.	Rod pada Gardu Induk Ideal	53
Gambar 4.4.	Tampilan Tegangan Sentuh pada <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	71
Gambar 4.5	Tampilan Tegangan Langkah pada <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	72
Gambar 4.6	Tampilan Tegangan Sentuh pada <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	88
Gambar 4.7	Tampilan Tegangan Langkah pada <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Faktor Perkalian untuk Pentanahan <i>Multiple Rods</i>	12
Tabel 2.2	Tahanan Jenis Tanah	16
Tabel 2.3	Penelitian Terdahulu.....	29
Tabel 3.1	Nilai Decrement Factor dengan frekuensi 50 Hz.....	37
Tabel 4.1	Nilai yang terdapat pada data simulasi di <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	51
Tabel 4.2	Kondisi Gardu Induk Ideal.....	54
Tabel 4.3	Spesifikasi <i>Copper Commercial Hard Drawn</i>	55
Tabel 4.4	Perbandingan nilai minimum dan nilai pada Gardu Induk.....	56
Tabel 4.5	Hasil perhitungan menggunakan <i>Earth Resistance Tester</i> pada Gardu Induk PT. PLN (Persero).....	57
Tabel 4.6	Perbandingan nilai yang diizinkan dan hasil perhitunga untuk Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah.....	68
Tabel 4.7	Hasil perhitungan berbagai Parameter pada Gardu Induk Ideal.....	68
Tabel 4.8	Berbagai parameter yang di input ke <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	69
Tabel 4.9	Hasil simulasi Gardu Induk Ideal menggunakan <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	73
Tabel 4.10	Nilai yang terdapat pada data simulasi di <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	74
Tabel 4.11	Spesifikasi <i>Copper Commercial Hard Drawn</i>	75
Tabel 4.12	Perbandingan Nilai Minimum dan Nilai pada Gardu Induk.....	77
Tabel 4.13	Tahanan rata-rata tanah berdasarkan jenisnya.....	77

Tabel 4.14 Perbandingan nilai yang di izinkan dan nilai hasil perhitungan untuk Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah.....	85
Tabel 4.15 Hasil perhitungan berbagai parameter pada Gardu induk Ideal jika berada di daerah Pegunungan.....	85
Tabel 4.16 Berbagai parameter yang di input ke <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	86
Tabel 4.17 Hasil simulasi Gardu Induk Ideal pada kondisi tanah pegunungan menggunakan <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	89
Tabel 4.18 Hasil akhir perbandingan simulasi Gardu Induk Ideal dengan penelitian sebelumnya menggunakan <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	90

DAFTAR RUMUS

Rumus (2.1).....	8
Rumus (2.2).....	9
Rumus (2.3).....	10
Rumus (2.4).....	11
Rumus (2.5).....	12
Rumus (2.6).....	13
Rumus (2.7).....	15
Rumus (2.8).....	15
Rumus (2.9).....	16
Rumus (2.10).....	18
Rumus (2.11).....	25
Rumus (2.12).....	26
Rumus (2.13).....	26
Rumus (2.14).....	26
Rumus (2.15).....	26
Rumus (2.16).....	28
Rumus (2.17).....	28
Rumus (2.18).....	28
Rumus (2.19).....	28
Rumus (3.1).....	33
Rumus (3.2).....	33
Rumus (3.3).....	33
Rumus (3.4).....	33
Rumus (3.5).....	34
Rumus (3.6).....	34
Rumus (3.7).....	34
Rumus (3.8).....	35
Rumus (3.9).....	35
Rumus (3.10).....	36
Rumus (3.11).....	36

Rumus (3.12).....	36
Rumus (3.13).....	37
Rumus (3.14).....	37
Rumus (3.15).....	38
Rumus (3.16).....	38
Rumus (3.17).....	38
Rumus (3.18).....	39
Rumus (3.19).....	39
Rumus (3.20).....	39
Rumus (3.21).....	39
Rumus (3.22).....	40
Rumus (3.23).....	40
Rumus (3.24).....	40
Rumus (3.25).....	40
Rumus (3.26).....	40
Rumus (3.27).....	40
Rumus (3.28).....	40
Rumus (3.29).....	40
Rumus (3.30).....	41
Rumus (3.31).....	41
Rumus (3.32).....	41

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data Konstanta Material Konduktor
- Lampiran 2. Spesifikasi *Hard Drawn Bare Copper Conductor*
- Lampiran 3. Kotak Dialog Gardu Induk Ideal pada Kondisi tanah berbatu menggunakan *Software* ETAP 12.6.0.
- Lampiran 4. Hasil Report Gardu Induk Ideal pada Kondisi tanah berbatu menggunakan *Software* ETAP 12.6.0.
- Lampiran 5. Hasil Analisis Tiga Dimensi Gardu Induk Ideal pada Kondisi tanah berbatu menggunakan *Software* ETAP 12.6.0.
- Lampiran 6. Kotak Dialog Gardu Induk Ideal pada Kondisi tanah berbatu menggunakan *Software* ETAP 12.6.0.
- Lampiran 7. Hasil Report Gardu Induk Ideal pada Kondisi tanah berbatu menggunakan *Software* ETAP 12.6.0.
- Lampiran 8. Hasil Analisis Tiga Dimensi Gardu Induk Ideal pada Kondisi tanah berbatu menggunakan *Software* ETAP 12.6.0.

NOMENKLATUR

L_x	: Panjang maksimum konduktor grid pada sisi panjang (meter)
L_y	: Panjang maksimum konduktor grid pada sisi lebar (meter)
L_p	: Keliling area pengetanahan <i>grid</i> (meter)
A	: Luas area pengetanahan (m^2)
h	: Kedalaman penanaman konduktor grid (meter)
d	: Diameter konduktor grid (meter)
n_x	: Jumlah konduktor paralel pada sisi panjang
n_y	: Jumlah konduktor paralel pada sisi lebar
D_x	: Jarak antar konduktor paralel pada sisi panjang (meter)
D_y	: Jarak antar konduktor paralel pada sisi lebar (meter)
D	: Jarak antar konduktor paralel (meter)
$A_{konduktor}$: Luas penampang konduktor (mm^2)
d_{rod}	: Diameter batang pengetanahan (meter)
L_r	: Panjang batang pengetanahan (meter)
n_R	: Jumlah batang pengetanahan
L_T	: Panjang total konduktor grid dan rod yang ditanam (meter)
R_G	: Tahanan pengetanahan pada Gardu Induk (Ω)
ρ	: Tahanan jenis tanah (Ωm)
a	: Jarak antar elektrode (meter)
R	: Tahanan yang terukur (Ω)
$E_{touch\ 50}$: Tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 50 kg (Volt)
$E_{touch\ 70}$: Tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 70 kg (Volt)
$E_{step\ 50}$: Tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 50 kg (Volt)
$E_{step\ 70}$: Tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 50 kg (Volt)
C_s	: <i>Derating Factor</i> atau faktor reduksi lapisan material permukaan
ρ_s	: Tahanan jenis material permukaan (Ωm)
I_f	: Arus gangguan ke tanah (kA)
t_c	: Durasi gangguan (detik)
T_m	: Temperatur maksimum yang diizinkan ($^{\circ}C$)

T_a	: Suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)
α_r	: Koefisien suhu dari resistivitas konduktor pada suhu 20°C ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
ρ_r	: Resistivitas dari konduktor pengetanahan pada suhu 20°C ($\mu\Omega\text{-cm}$)
K_o	: $1/\alpha_o$
$TCAP$: Kapasitas <i>thermal</i> konduktor per unit volume [$\text{J}/(\text{cm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$]
α_o	: Koefisien suhu dari tahanan jenis konduktor pada suhu 0°C
R_g	: Tahanan pengetanahan (Ohm)
I_g	: Arus gangguan ke tanah (A)
D_f	: <i>Decrement factor</i>
I_G	: Arus grid maksimum (kA)
R_g	: Tahanan pengetanahan (Ω)
GPR	: Ground Potential Rise (Volt)
K_m	: Faktor geometrik tegangan <i>mesh</i>
n	: Faktor geometris
L_c	: Panjang total konduktor <i>grid</i> (m)
h_s	: Panjang total konduktor <i>grid</i> (m)
E_m	: Tegangan sentuh hasil perhitungan (Volt)
E_s	:Tegangan langkah hasil perhitungan (Volt)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Semakin padatnya populasi dan hampir setiap kegiatan manusia membutuhkan energi listrik. Kinerja Gardu Induk berpengaruh pada keberhasilan dari operasi sistem tenaga listrik. Dimana GI memiliki fungsi sebagai pusat dari pengaturan beban, pusat pemulihan oleh gangguan, pusat pencatatan untuk besaran listrik, dan pusat untuk penurunan atau kenaikan tegangan[1]. Dalam pengoperasiannya, GI bisa jadi tidak selalu berjalan dengan normal. Maka, sistem proteksi di GI sangatlah penting, karena kerusakan yang akan dialami GI dapat mengganggu jalannya sistem yang beroperasi.

Untuk dapat mengatasinya maka GI memiliki sistem pengetanahan yang memenuhi standar aman bagi peralatan maupun manusia di area GI. Awalnya pada pengetanahan gardu induk di permukaan tanahnya ditanamkan batang konduktor dengan cara vertikal[2].

Penanaman batang konduktor yang dilakukan dengan cara vertikal terhadap permukaan tanah tidaklah efektif karena arus yang muncul tidak terdistribusi dengan sempurna dan mengakibatkan arus yang tinggi tidak dapat ditahan sehingga batang konduktor dapat rusak. Oleh sebab itu, dibutuhkan *design* sistem pengetanahan *grid-rod* pada GI yaitu sistem pengetanahan horizontal terhadap permukaan tanah yang dihubungkan pada konduktor lain dan membentuk jaring-jaring[2].

Pada sistem pengetanahan dapat digunakan teknik simulasi numerik dengan pendekatan analitik, fungsinya yaitu untuk melakukan analisis terhadap elektroda dan *design* sistem pengetanahannya. Elektroda pengetanahan memiliki dua jenis pemodelan, yaitu *Finite Difference Transmission Line* dan *Finite Element Method* (FEM)[3]. Pengertian dari FEM merupakan suatu metode pada

perhitungan numeris untuk penyelesaian masalah perhitungan pada fisika matematis maupun keteknikan. Pada perancangan penelitian ini, digunakan metode IEEE Std 80-2000 pada *setting* pengaplikasian *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP 12.6.0) untuk melihat bagaimana perbedaan hasil simulasi yang digunakan.

1.2 Perumusan Masalah

Ada beberapa alasan kenapa sistem pengetanahan harus diterapkan. Alasannya sebagai pengaman terhadap bangunan dan peralatan yang berada di dalamnya dari kontak yang tidak disengaja adanya aliran listrik diakibatkan gangguan atau sambaran petir, serta alasan yang paling utama adalah untuk melindungi manusia dari akibat gangguan yang mungkin timbul[3]. Untuk itu penulis akan membahas bagaimana perbedaan saat durasi saat terjadi gangguan berbeda, apakah berpengaruh terhadap tegangan sentuh dan tegangan langkahnya, sehingga dapat diketahui jika tegangan sentuh dan tegangan langkah tidak sesuai standar IEEE 80-2013.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk melihat perbandingan hasil perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah secara analitik dan numerik menggunakan *software* ETAP 12.6.0. berdasarkan standar IEEE 80-2000 pada kondisi tanah berbatu dan tanah pegunungan.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Mendesain sistem pengetanahan *grid-rod* menggunakan *study model* IEEE *Method* pada *software* ETAP versi 12.6.0.

2. Perhitungan sistem pengetanahan *grid-rod* menggunakan metode IEEE standar 80-2000 pada *software* ETAP versi 12.6.0.
3. Perhitungan analitik yang digunakan sesuai dengan standar IEEE 80-2013.
4. Rancangan sistem pengetanahan yang dibahas hanya mencakup desain konfigurasi *grid-rod*, tegangan sentuh dan tegangan langkah.
5. Tahanan jenis tanah yang digunakan pada setiap lapisan diasumsikan seragam.

1.5 Hipotesis

Dari penelitian sebelumnya terdapat beberapa diantaranya penelitian yang serupa. Pada tahun 2019, Nugraha, Dodo[4] melakukan analisis pada pengetanahan GI Kenten PT. PLN (Persero) dengan metode FEM. Setelah dilakukan perhitungan analitik dan numerik dengan simulasi pada *software* ETAP 12.6.0, dihasilkan yaitu GI Kenten PT. PLN (Persero) memenuhi standar IEEE Standar 80-2000.

Pada perancangan penelitian ini, digunakanlah metode yang berbeda dalam simulasi numerik yaitu digunakan metode IEEE Std. 80-2000 pada setting pengaplikasian ETAP 12.6.0 dan perhitungan analitik digunakan standar IEEE standar 80-2013 untuk menganalisa hasil perbandingan simulasi dan manual yang didapatkan.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang berkaitan dengan teori sistem *grounding*, perhitungan analitik menggunakan metode IEEE Standar 80-2000 dan sebagainya

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang waktu, rancangan desain *grid*, dan sebagainya, serta menjelaskan secara umum bagaimana proses penelitian tugas akhir.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi hasil dan pembahasan dari penelitian.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini membahas kesimpulan dan saran yang didapatkan dari penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syofian, Andi. 2013. *Sistem Pentanahan Grid Pada Gardu Induk PLTU Teluk Sirih*. Jurnal Momentum. 14(1), hlm. 36-45.
- [2] Pole, Kalyani., A.K. Sharma. 2012. "An Efficient approach for Shielding Effect of the Grounding Electrodes under Impulse-Current Voltage based on MATLAB". *International Journal of Advanced Computer Research*. 2(2), hlm. 80-86.
- [3] Hutahuruk, T.S. 1987. "Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan". Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [4] Nugraha, Dodo. 2019. "Perbandingan Perhitungan Analitik Dan Simulasi Software Etap 12.6.0. Pada Sistem Pengetanahan Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)," Skripsi, Universitas Sriwijaya, 2019.
- [5] Rizal, Yose. 2014. *Analisis Kinerja Sistem Pentanahan PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Ngimbang-Lamongan Dengan Metode Finite Element Method (FEM)*. Jurnal Teknik POMITS. Hlm. 1-6
- [6] D. Hernaldo, R. . Prasetyo, Firman, and Y. Irawan, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. 2010.
- [7] Dewi, Nuril Aditya. 2013. Optimalisasi Rancangan Sistem Pentanahan *Grid-Rod* Pada Gardu Induk PLTP Ulubelu. Laporan Skripsi. Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia: tidak diterbitkan.
- [8] Cheema, Muhammad Usman. dkk. 2015. "A Comparison of Ground Grid Mesh Design and Optimization for 500KV Substation Using IEEE 80-2000 and Finite Element Methods". *Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ)*. Vol. 4, No. 1
- [9] Nurjannah, Fitri. 2015. Studi dan Evaluasi Sistem Pengetanahan *Grid-Rod* Gardu Induk (GI) 150 KV Kentungan Yogyakarta. Laporan Skripsi. Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia: tidak diterbitkan.
- [10] G. Baldi dan H. Al Rasyid, "Penilaian Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah di Gardu Induk Konvensional dan Berisolasi Gas," Jurnal Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Vol. 13, No. 2, pp 139-150, 2014.

- [11] J. Kamal dan S. Abduh, "Perancangan Sistem Pentanahan *Gas Insulated Switcgear* 150 kV Pulogadung dengan *Finite Element Method*," JETRI Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Vol. 15, No. 2, pp 187–200, 2018.
- [12] I.W. Sudiartha, I. Ketut TA, I.G.N. Sangka, "Analisis Pengaruh Jenis Tanah terhadap Besarnya Nilai Tahanan Pentanahan," Jurnal LOGIC, Vol. 16, No. 1, pp 35-39, 2016.
- [13] Y. Rizal, I.G.N.S. Hernanda, dan Wahyudi, "Analisis Kinerja Sistem Pentanahan PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Ngimbang-Lamongan dengan Metode *Finite Element Method (FEM)*," JURNAL TEKNIK POMITS, pp 1-6, 2014.
- [14] Meilah Karmilawati, "Perbandingan Hasil Perhitungan dan Pengukuran Tahanan Sistem Pentanahan Tanpa dan dengan Penambahan Zat Aditif Betonite dan Karbon," Skripsi, Universitas Sriwijaya, 2018.
- [15] I.R. Putri, T. Haryono, dan E. Firmansyah "Review Metode Pemodelan Elektroda Pentanahan," Prosiding SNATIF ke-3, pp 197-202, 2016.
- [16] P. Sumardjati, S. Yahya dan A. Mashar, 2008, "Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik untuk Sekolah Menengah Kejuruan," Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- [17] M. Saini, A.M.S. Yunus dan A. Pangkung, "Pengembangan Sistem Penangkal Petir dan Pentanahan Elektroda Rod dan Plat," Journal INTEK, Vol. 3 (2), pp 66-71, 2016.
- [18] A. Budiman, "Analisa Perbandingan Tahanan Pembumian Peralatan Elektroda Pasak pada Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan," Jurnal Nasional Teknik Elektro, Vol. 6, No.3, pp 152-158, 2017.
- [19] Institute of Electrical and Electronics Engineers, "*IEEE Std. 80-2013. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System*," 2013.
- [20] Suyamto, Sutadi dan E. Nuraini, "Instalasi dan Evaluasi *Grounding* untuk MBE Industri Lateks PTAPB menggunakan *Multiple Rod*," Jurnal Iptek Nuklir Ganendra, Vol. 15, No. 2, pp 72-81, 2012.

- [21] W.P. Widyaningsih, “Perubahan Konfigurasi Elektrode Pentanahan Batang Tunggal untuk Mereduksi Tahanan Pentanahan, EKSERGI Jurnal Teknik Energi, Vol. 9, No. 2, pp 47-51, 2013.
- [22] M. Mukmin, A. Kali dan B. Mukhlis, “Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan pada Area Reklamasi Pantai (Citriland),” Jurnal MEKTRIK, Vol. 1, No. 1, pp 29-39, 2014.
- [23] M. Brenna, F. Foadelli, M. Longo dan D. Zaninelli, “*Particular Grounding Systems Analysis using FEM Models,*” *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2018.
- [24] M.U. Cheema, M.B. Cheema, A. Basir dan M.U. Aslam, “*A Comparison of Ground Grid Mesh Design and Optimization for 500KV Substation Using IEEE 80-2000 and Finite Element Methods,*” *Electrical and Electronic Engineering: An International Journal (ELELIJ)*. Vol. 4, No. 1, pp 131-146, 2015.
- [25] W.J.V. Tocher, B. Pawlik, D.J. Woodhouse dan C. Shaw, “*On Decrement Factor How and Why X/R Correction is Used And Abused*” *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 2016.
- [26] P.B. Ankita, V. Keval. “*Digital Application for Grounding Grid Design Calculations of Substation,*” *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, 2017.
- [27] Munaji, S. Imam, I. Luthfinur. “Penentuan Tahanan Jenis Batuan Andesit Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schumberger (Studi Kasus Desa Polisiri,” Jurnal Fisika, Vol. 3, No. 2, pp 118-121, 2013.
- [28] Mahadi bin Hassan, “*Simulation of Haddad Surge Arrester Model on a 132 kV Overhead Transmission Line for Back Flashover Analysis Using Alternative Transient Program (ATP),*” Faculty of Electrical and Electronics Engineering Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 2015.
- [29] Standar Perusahaan Umum Listrik Negara 7 : 1978. Pembagian Tugas Kelompok – Kelompok Pembakuan. Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara, Agustus 1978.