

SKRIPSI

**PERBANDINGAN PERHITUNGAN ANALITIK DAN SIMULASI
SOFTWARE ETAP 12.6.0. PADA SISTEM PENGETAHUAN
GARDU INDUK KENTEN PT. PLN (PERSERO)**



**Dibuat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
pada Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

Oleh:

**DODO NUGRAHA
03041181520105**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

PERBANDINGAN PERHITUNGAN ANALITIK DAN SIMULASI SOFTWARE ETAP 12.6.0. PADA SISTEM PENGETAHANAN GARDU INDUK KENTEN PT. PLN (PERSERO)



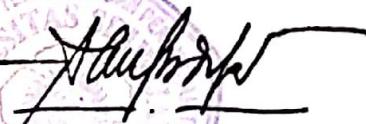
**Dibuat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
pada Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

Oleh:

**DODO NUGRAHA
03041181520105**

Indralaya, Desember 2019

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197108141999031005

Menyetujui,

Pembimbing Utama

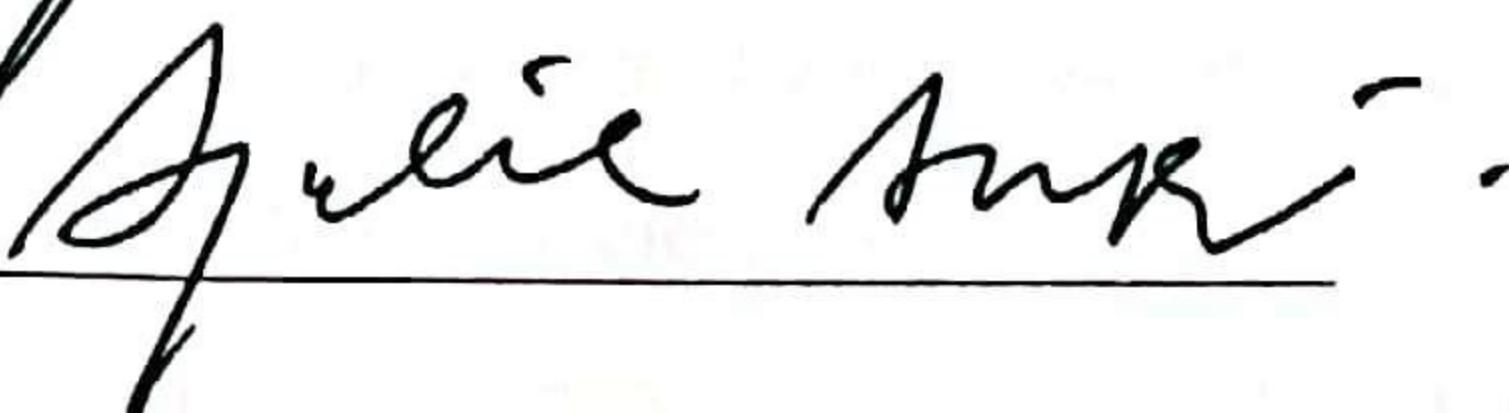

Djuli Amri, S.T., M.T.
NIP. 196507131997021001

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 :

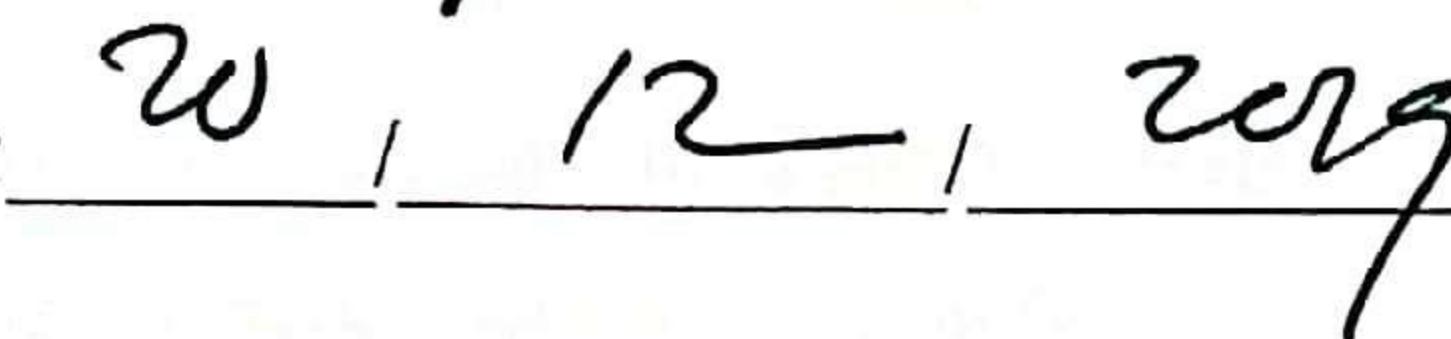


Pembimbing Utama :



Arie Anri

Tanggal :



20, 12, 2023

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dodo Nugraha

NIM : 03041181520105

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Universitas Sriwijaya

Menyatakan bahwa karya ilmiah dengan judul **Perbandingan Perhitungan Analitik dan Simulasi Software ETAP 12.6.0. pada Sistem Pengetahanan Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)** merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari karya ilmiah ini merupakan hasil plagiat atas karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia bertanggung jawab dan menerima sanksi yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Indralaya, Desember 2019



Dodo Nugraha

NIM. 03041181520105

KATA PENGANTAR

Innalhamdalillah, Allahumma sholli ‘ala Muhammad. Sebakda tahnid 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 Perhitungan Analitik dan Simulasi Software ETAP 12.6.0. pada Sistem Pengetahanan Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)** akhirnya dapat terselesaikan.

Utamanya, banyak pihak yang telah memberikan *support* selama penulis melaksanakan kehidupan perkuliahan ini. Pertama, Bapak (Zulkifli) yang telah berjuang begitu gigih untuk dapat memberikan nafkah kepada kami, memberikan nasihat kehidupan yang selalu tertanam sejak kecil hingga hari ini. Kemudian *Mamak* (Tri Muryani) dan Adik (Muhammad Rahman).

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

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Bapak Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D. beserta para staff dan jajarannya.
2. Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. Beliau telah banyak membantu memberikan saran dan masukan dalam penulisan tugas akhir ini.
3. Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, Ibu Dr. Herlina, S.T., M.T. yang juga sekaligus sebagai Kepala Laboratorium Mesin Mesin Listrik tempat pengulis mengabdikan diri sebagai asisten laboratorium.
4. Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Bapak Djulil Amri, S.T., M.T. yang dari beliaulah banyak pelajaran berharga telah penulis dapatkan.
5. Dosen Penasihat Akademik, Ibu Hermawati, S.T., M.T. yang sejak 2015 hingga sekarang tak pernah lelah memberikan nasihatnya.
6. Para Dosen dan staff Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya yang telah mengajar hingga memberi nasihat kehidupan selama menjalani perkuliahan.

7. Para Karyawan PT. PLN (Persero) yakni Bapak Hari, Bapak Ubaed, Mas Redha dan Mas Fahlevi yang telah membantu penulis dalam pengambilan data tugas akhir ini.
8. Para Rekan di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Sriwijaya (HME FT Unsri), LDF Kalam FT Unsri, *Strong Ties* dan berbagai organisasi maupun komunitas yang diikuti.

Ucapan permohonan maaf dihaturkan dalam kata pengantar ini, tersebab ruangan yang terbatas. Semoga berbagai bantuan yang telah diberikan menjadi amal kebikan di hadapan Allah dan semoga Skripsi ini dapat bermanfaat menjadi sumbangsih ilmu pengetahuan dalam membangun peradaban.

Palembang, Desember 2019

Penulis

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Dodo Nugraha
NIM : 03041181520105
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 PERHITUNGAN ANALITIK DAN SIMULASI
SOFTWARE ETAP 12.6.0. PADA SISTEM PENGETAHANAN
GARDU INDUK KENTEN PT. PLN (PERSERO)**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media/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 : Palembang
Pada tanggal : Desember 2019

Yang menyatakan,

Dodo Nugraha

ABSTRAK

Gardu induk memiliki peran yang cukup penting dalam mendistribusikan listrik. Hal ini menuntut adanya keandalan dari gardu induk sehingga diperlukan suatu sistem pengetahanan untuk memperoleh keamanan, keselamatan peralatan, lingkungan, hingga manusia yang ada di sekitarnya. Untuk mencapai tujuan yang diharapkan maka pengetahanan harus mengikuti standar serta persyaratan yang berlaku. Kualitas dari sistem pengetahanan pada sistem tenaga listrik dapat dilihat dari nilai tahanan. Semakin rendah nilai tahanan maka sistem pengetahanan semakin baik dalam pendistribusian tegangan lebih. Diperlukan suatu analisis terhadap sistem pengatanahan pada gardu induk menggunakan metode perhitungan analitik dan bantuan perangkat lunak (*software*). Untuk perhitungan analitik, landasan yang digunakan adalah standar IEEE Std. 80-2000 berjudul *IEEE Guide for Safety in AC Substations Grounding*. Sedangkan untuk *software* yang dipilih adalah ETAP 12.6.0. Riset ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbandingan dalam aspek keamanan antara perhitungan secara analitik dan simulasi dengan *software* ETAP 12.6.0. Kemudian juga untuk mengetahui apakah Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) telah sesuai standar IEEE Std. 80-2000. Di sisi lain juga untuk menginfokan ke masyarakat luas terkait keamanan Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) dengan parameter tegangan sentuh dan tegangan langkah. Setelah dilakukan perhitungan analitik secara langsung dan simulasi dengan *software* ETAP 12.6.0. Diketahui bahwa dalam segi keamanan, lebih disarankan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. karena memiliki keunggulan bisa menganalisis setiap titik koordinat dengan mengetahui bagian mana yang memiliki nilai tegangan sentuh atau tegangan langkah yang besar maupun kecil. Dan Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) telah memenuhi standar aman EEE Std. 80-2000 karena $A_{min} < AGI$ dan $d_{min} < dGI$, $E_m < E_{touch\ 70}$, dan $E_s < E_{step\ 70}$.

ABSTRACT

The substation has a significant function to distribute the energy of electricity. It must have a reliability of the substation, so we need a grounding system to obtain security, the safety of equipment, the environment, and for people around it. To achieve the expected objectives, the grounding system must follow applicable standards and requirements. The quality of grounding system can be seen from its resistance value. When the resistance value is getting lower, the quality will be better. An analysis of the grounding system at the substation is required using analytical calculation methods and software assistance. For analytic calculations, it used The IEEE Std. 80-2000 (*IEEE Guide for Safety in AC Substations Grounding*). As for the software chosen is ETAP 12.6.0. This research was done at Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) to find that it is based on IEEE Std. 80-2000 or not. And the other purpose is to know the comparison between analytical calculation methods and using ETAP 12.6.0. software on safety aspect. On the other hand also to inform the people that Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) is safe or not. The parameters are touch voltage and step voltage. After calculating, on safety aspect known that using software is better than analytical calculation. Because it can analyze every coordinat, which spot that have step voltage or touch voltage high or low. And then, Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) has fulfilled the IEEE Std. 80-2000 because $A_{min} < A_{GI}$, $d_{min} < d_{GI}$, $E_m < E_{touch\ 70}$, and $E_s < E_{step\ 70}$.

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iii
KATA PENGANTAR	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR RUMUS.....	xvi
NOMENKLATUR.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penulisan.....	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Sistem Pengetahanan.....	6
2.2. Tujuan Sistem Pengetahanan	7
2.3. Elektrode Sistem Pengetahanan	7
2.3.1. Elektrode Batang	8
2.3.2. Elektrode Pelat	9
2.3.3. Elektrode Pita	10
2.4. Tahanan Jenis Tanah.....	11
2.5. Klasifikasi Desain Sistem Pengetahanan	15
2.5.1. Pengetahanan Batang (<i>Rod</i>)	15
2.5.2. Pengetahanan Kisi (<i>Grid</i>).....	17

2.5.3.	Pengetahanan <i>Grid-Rod</i>	18
2.6.	Sistem Pengetahanan Gardu Induk	19
2.7.	<i>Arrester</i>	20
2.7.1.	<i>Arrester</i> Ekspulsi atau Tabung Pelindung.....	21
2.7.2.	<i>Arrester</i> Katup.....	21
2.7.3.	<i>Metal Oxide Arrester</i>	23
2.8.	Potensi Bahaya Tegangan Listrik.....	23
2.8.1.	Tegangan Sentuh (<i>Touch Voltage</i>).....	24
2.8.2.	Tegangan Langkah (<i>Step Voltage</i>)	28
2.9.	Konsep <i>Finite Element Method</i> (FEM) pada Sistem Pengetahanan.....	30
2.10.	<i>Electrical Transient Analyzer Program</i> (ETAP)	33
2.11.	Penelitian Terdahulu	33
	BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1.	Objek Penelitian	35
3.2.	Waktu Penelitian	36
3.3.	Metode Penelitian.....	36
3.4.	Langkah-Langkah Analisis Data.....	36
3.5.	<i>Flow Chart</i> Penelitian	37
3.6.	Data yang akan Digunakan	39
3.6.1.	Dimensi Konduktor <i>Grid</i> dan Ukuran Penampang Pengetahanan.....	39
3.6.2.	Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah pada Gardu Induk	44
3.6.2.1.	Menentukan Nilai Resistansi Tanah.....	44
3.6.2.2.	Menentukan Material Lapisan Tambahan.....	45
3.6.2.3.	Menentukan Resistansi Pengetahanan Gardu Induk	46
3.6.2.4.	Menentukan Arus Maksimum.....	46
3.6.2.5.	Menentukan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah yang Diizinkan	48
3.6.2.6.	Menentukan <i>Ground Potential Rise</i> (GPR)	49
3.6.2.7.	Menetukan Desain Sistem Pengetahanan.....	50
3.6.2.8.	Mengevaluasi Rancangan.....	52

3.7.	Simulasi Perancangan Menggunakan ETAP 12.6.0	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		60
4.1.	Hasil Identifikasi Data.....	60
4.2.	Pembahasan dan Analisis Data	64
4.2.1.	Perhitungan Analitik	64
4.2.1.1.	Ukuran Penampang Konduktor Pengetahanan.....	64
4.2.1.2.	Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah pada Gardu Induk	66
4.2.1.2.1.	Menentukan Nilai Resistansi Tanah.....	66
4.2.1.2.2.	Menentukan Material Lapisan Tambahan.....	71
4.2.1.2.3.	Menentukan Resistansi Pengetahanan Gardu Induk	71
4.2.1.2.4.	Menentukan Arus Maksimum.....	72
4.2.1.2.5.	Menentukan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah yang Diizinkan	72
4.2.1.2.6.	Menentukan <i>Ground Potential Rise</i> (GPR)	75
4.2.1.2.7.	Menetukan Desain Sistem Pengetahanan.....	75
4.2.1.2.8.	Ringkasan Hasil Perhitungan	79
4.2.2.	Simulasi dengan <i>Software</i> ETAP 12.6.0	80
4.2.2.1.	Resistansi Pengetahanan Gardu Induk	81
4.2.2.2.	Arus Maksimum.....	82
4.2.2.3.	<i>Ground Potential Rise</i> (GPR)	82
4.2.2.4.	Tegangan Sentuh	82
4.2.2.5.	Tegangan Langkah	84
4.2.2.6.	Ringkasan Hasil Perhitungan	86
BAB V PENUTUP.....		88
5.1.	Kesimpulan	88
5.2.	Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA		90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Elektrode batang.....	8
Gambar 2.2.	Elektrode pelat.....	9
Gambar 2.3.	Elektrode pita	10
Gambar 2.4.	Cara pemasangan elektrode pita.....	11
Gambar 2.5.	Metode pengukuran resistansi tanah 4 titik (Metode Wenner).....	13
Gambar 2.6.	Metode pengukuran resistansi tanah 3 titik	14
Gambar 2.7.	Pengetahanan <i>single rod</i>	15
Gambar 2.8.	Pengetahanan <i>grid</i>	18
Gambar 2.9.	Pengetahanan <i>grid-rod</i>	19
Gambar 2.10.	<i>Arrester</i> jenis ekspulsi.....	21
Gambar 2.11.	<i>Arrester</i> jenis katup.....	22
Gambar 2.12.	Konstruksi dan bentuk fisik <i>MOA</i>	23
Gambar 2.13.	Perbedaan tegangan sentuh dan tegangan langkah	24
Gambar 2.14.	Kondisi tegangan sentuh	25
Gambar 2.15.	Impedansi dari sirkuit tegangan sentuh.....	25
Gambar 2.16.	Rangkaian <i>thevenin</i> tegangan sentuh	26
Gambar 2.17.	Kondisi tegangan langkah	28
Gambar 2.18.	Rangkaian thevenin tegangan langkah.....	29
Gambar 2.19.	Contoh hasil simulasi grafis menggunakan <i>software ANSYS</i>	32
Gambar 2.20.	Contoh hasil simulasi grafis menggunakan <i>software MATLAB</i> ..	32
Gambar 2.21.	Contoh hasil simulasi grafis menggunakan <i>software ETAP</i>	32
Gambar 2.22.	Logo ETAP	33
Gambar 3.1.	Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)	35
Gambar 3.2.	Area dalam Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero).....	35
Gambar 3.3.	<i>Flow chart</i> proses analisis sistem pengetahanan pada gardu induk.....	38
Gambar 3.4.	Konfigurasi konduktor <i>grid</i>	40
Gambar 3.5.	<i>Layout plan</i> Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero).....	41
Gambar 3.6.	Tampilan <i>grid</i> Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero).....	42
Gambar 3.7.	Metode pengukuran resistansi tanah 4 titik (Metode Wenner).....	44

Gambar 3.8.	Tampilan cara memulai <i>project</i> baru pada ETAP 12.6.0.....	54
Gambar 3.9.	Tampilan kotak dialog <i>project</i> baru pada ETAP 12.6.0.....	54
Gambar 3.10.	Tampilan kotak dialog <i>User Information</i>	55
Gambar 3.11.	Tampilan mula dari ETAP 12.6.0	55
Gambar 3.12.	Tampilan memilih <i>Ground Grid System</i>	56
Gambar 3.13.	Pilihan model dalam <i>Ground Grid Design</i>	56
Gambar 3.14.	Tampilan <i>Ground Grid System</i>	57
Gambar 3.15.	Tampilan kotak dialog yang muncul pada <i>Ground Grid System</i> ...	57
Gambar 3.16.	Tampilan pemilihan desain sistem pengetahanan	58
Gambar 3.17.	Tampilan hasil desain sederhana sistem pengetahanan	58
Gambar 3.18.	Tampilan tiga dimensi pada <i>Ground Grid System</i> di <i>software</i> ETAP 12.6.0.....	59
Gambar 4.1.	Tampilan dua dimensi Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)	61
Gambar 4.2.	Tampilan tiga dimensi Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)	62
Gambar 4.3.	<i>Rod</i> pada Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)	62
Gambar 4.4.	Tampilan Tegangan Sentuh pada <i>Software</i> ETAP 12.6.0.....	84
Gambar 4.5.	Tampilan Tegangan Langkah pada <i>Software</i> ETAP 12.6.0	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Nilai Rata-rata Tahanan Jenis Tanah	12
Tabel 2.2.	Faktor Perkalian untuk Pengetahanan <i>Multiple Rods</i>	17
Tabel 2.3.	Data Penelitian yang pernah Dilakukan berkaitan dengan Topik Riset yang Dilakukan	34
Tabel 3.1.	Dimensi Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)	42
Tabel 3.2.	Ukuran Batang Pengetahanan pada Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)	44
Tabel 3.3.	Nilai <i>Decrement Factor</i> dengan Frekuensi 50 Hz	48
Tabel 4.1.	Nilai yang Terdapat pada Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)	60
Tabel 4.2.	Kondisi Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)	63
Tabel 4.3.	Spesifikasi <i>Copper Commercial Hard Drawn</i>	65
Tabel 4.4.	Perbandingan Nilai Minimum dan Nilai pada Gardu Induk	66
Tabel 4.5.	Hasil Perhitungan Menggunakan <i>Earth Resistance Tester</i> pada Gardu Induk PT. PLN (Persero)	67
Tabel 4.6.	Tegangan Sentuh yang Diizinkan dengan Variasi Waktu Terjadi Gangguan	73
Tabel 4.7.	Tegangan Langkah yang Diizinkan dengan Variasi Waktu Terjadi Gangguan	74
Tabel 4.8.	Perbandingan Nilai yang Diizinkan dan Nilai Sebenarnya untuk Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah	79
Tabel 4.9.	Hasil Perhitungan berbagai Parameter pada Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero)	80
Tabel 4.10.	Berbagai Parameter yang di-input ke <i>Software ETAP 12.6.0</i>	81
Tabel 4.11.	Hasil Simulasi Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) menggunakan <i>Software ETAP 12.6.0</i>	86

DAFTAR RUMUS

Rumus (2.1).....	9
Rumus (2.2).....	10
Rumus (2.3).....	11
Rumus (2.4).....	13
Rumus (2.5).....	13
Rumus (2.6).....	14
Rumus (2.7).....	15
Rumus (2.8).....	16
Rumus (2.9).....	18
Rumus (2.10).....	26
Rumus (2.11).....	27
Rumus (2.12).....	27
Rumus (2.13).....	27
Rumus (2.14).....	27
Rumus (2.15).....	29
Rumus (2.16).....	29
Rumus (2.17).....	30
Rumus (2.18).....	30
Rumus (3.1).....	40
Rumus (3.2).....	40
Rumus (3.3).....	40
Rumus (3.4).....	40
Rumus (3.5).....	43
Rumus (3.6).....	43
Rumus (3.7).....	45
Rumus (3.8).....	45
Rumus (3.9).....	45
Rumus (3.10).....	46
Rumus (3.11).....	47
Rumus (3.12).....	47

Rumus (3.13).....	47
Rumus (3.14).....	48
Rumus (3.15).....	48
Rumus (3.16).....	49
Rumus (3.17).....	49
Rumus (3.18).....	49
Rumus (3.19).....	50
Rumus (3.20).....	50
Rumus (3.21).....	50
Rumus (3.22).....	51
Rumus (3.23).....	51
Rumus (3.24).....	51
Rumus (3.25).....	51
Rumus (3.26).....	51
Rumus (3.27).....	51
Rumus (3.28).....	51
Rumus (3.29).....	51
Rumus (3.30).....	52
Rumus (3.31).....	52
Rumus (3.32).....	52
Rumus (3.33).....	52

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Kegiatan Pengukuran Resistansi Pengetahanan
- Lampiran 2. *Layout Plan* Gardu Iduk Kenten PT. PLN (Persero)
- Lampiran 3. Gambar Detail Struktur Tiang Pengetahanan pada Gardu Iduk Kenten PT. PLN (Persero)
- Lampiran 4. Gambar Detail Aksesoris Pengetahanan pada Gardu Iduk Kenten PT. PLN (Persero)
- Lampiran 5. Data Konstanta Material Konduktor
- Lampiran 6. Spesifikasi *Hard Drawn Bare Copper Conductor*
- Lampiran 7. Kotak Dialog pada *Software* ETAP 12.6.0.
- Lampiran 8. Hasil Report pada *Software* ETAP 12.6.0.
- Lampiran 9. Hasil Analisis Tiga Dimensi pada *Software* ETAP 12.6.0.
- Lampiran 10. Hasil Similarity Index

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 pengetahanan <i>grid</i> (meter)
A	: Luas area pengetahanan (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)
$A_{\text{konduktor}}$: Luas penampang konduktor (mm^2)
d_{rod}	: Diameter batang pengetahanan (meter)
L_r	: Panjang batang pengetahanan (meter)
n_R	: Jumlah batang pengetahanan
L_T	: Panjang total konduktor grid dan rod yang ditanam (meter)
R_G	: Tahanan pengetahanan pada Gardu Induk (Ω)
ρ	: Tahanan jenis tanah (Ωm)
a	: Jarak antar elektrode (meter)
R	: Tahanan yang terukur (Ω)
$E_{\text{touch } 50}$: Tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 50 kg (Volt)
$E_{\text{touch } 70}$: Tegangan sentuh yang diizinkan untuk berat badan 70 kg (Volt)
$E_{\text{step } 50}$: Tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 50 kg (Volt)
$E_{\text{step } 70}$: 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	: Suhu maksimum yang diizinkan ($^{\circ}\text{C}$)
T_a	: Suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)
α_r	: Koefisien suhu dari resistivitas konduktor pada suhu $20\ ^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
ρ_r	: Resistivitas dari konduktor pengetahanan pada suhu $20\ ^{\circ}\text{C}$ ($\mu\Omega\text{-cm}$)
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 $0\ ^{\circ}\text{C}$
R_g	: Tahanan pengetahanan (Ohm)
I_g	: Arus gangguan ke tanah (A)
D_f	: <i>Decrement factor</i>
I_G	: Arus grid maksimum (kA)
R_g	: Tahanan pengetahanan (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 sebenarnya (Volt)
E_s	: Tegangan langkah sebenarnya (Volt)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yakni pusat pembangkit, jaringan transmisi dan jaringan distribusi. Pada jaringan transmisi diperlukan gardu induk yang merupakan beban jaringan distribusi [1]. Gardu induk memiliki peran yang cukup penting dalam mendistribusikan listrik dari pembangkit menuju konsumen. Hal tersebut menuntut adanya keandalan dan kontinuitas dari gardu induk sehingga diperlukan suatu sistem pengetahanan sebagai pengaman dari gangguan yang mungkin muncul ketika beroperasi [2]. Elektroda pengetahanan yang disusun secara vertikal dan horizontal sering digunakan untuk sistem proteksi petir. Fungsinya adalah untuk menyebarkan arus petir ke bumi tanpa menimbulkan beda potensial yang dapat membahayakan manusia atau merusak sistem instalasi pada gardu induk. Ada beberapa alasan yang cukup penting kenapa sistem pengetahanan harus dipasang seperti untuk memperoleh keamanan, keselamatan peralatan, lingkungan. Namun yang menjadi alasan utama adalah untuk melindungi keselamatan manusia yang ada di sekitarnya. Untuk mencapai tujuan yang diharapkan maka pengetahanan harus mengikuti standar serta persyaratan yang berlaku [3].

Sistem pengetahanan pada gardu induk bisa terlihat sebagai suatu sistem yang cukup rumit karena harus dapat menahan arus dan tegangan yang sangat tinggi secara terus menerus. Peralatan tersebut juga harus mampu menahan arus hubung singkat dan impuls petir dalam waktu hanya beberapa detik [4]. Kualitas dari sistem pengetahanan pada sistem tenaga listrik dapat dilihat dari nilai tahanan. Semakin rendah nilai tahanan maka sistem pengetahanan semakin baik dalam pendistribusian tegangan lebih [5].

Dalam sistem pengetahanan, digunakan pendekatan analitik dengan teknik simulasi numeris yang berguna untuk menganalisis elektrode dan desain sistem

pengetahahannya. Terdapat dua jenis pemodelan untuk elektrode pengetahanan, yaitu *Finite Difference Transmission Line* dan *Finite Element Method* (FEM) [6]. Pengertian dari *Finite Element Method* (FEM) atau Metode elemen hingga merupakan suatu metode perhitungan numeris untuk menyelesaikan perhitungan masalah mengenai fisika matematis dan keteknikan. Contoh kasus penggunaan metode ini adalah pada perhitungan analisa struktur, aliran fluida hingga elektromagnetik. Penyelesaian *Finite Element Method* (FEM) memberikan hasil berupa pendekatan dari nilai yang tidak diketahui pada titik tertentu dalam sistem yang kontinyu [4]. Untuk membantu memudahkan perhitungan, digunakan *software Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP 12.6.0.) yang dapat membantu analisis mengenai sistem kelistrikan secara realitas grafis dan virtual.

1.2. Perumusan Masalah

Dari uraian yang telah dijelaskan, penulis tertarik untuk melakukan analisis terhadap sistem pengatanahan pada Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) menggunakan metode perhitungan analitik dan bantuan perangkat lunak (*software*). Untuk perhitungan analitik, landasan yang digunakan adalah standar IEEE Std. 80-2000 berjudul *IEEE Guide for Safety in AC Substations Grounding*. Sedangkan untuk *software* yang dipilih adalah ETAP 12.6.0. karena penggunaanya cukup mudah dibanding *software* lain. Cara kerja dari ETAP 12.6.0. adalah hanya memasukkan angka-angka yang diperlukan, kemudian hasil simulasi langsung dapat ditampilkan. Jadi, penggunaan *software* ETAP 12.6.0. merupakan tindakan yang cukup efesien. Tujuan dilakukan perbandingan antara perhitungan analitik dan simulasi menggunakan *software* adalah untuk melihat apakah dengan bantuan *software* hasilnya akan mendekati nilai sebenarnya atau tidak.

Riset ini dilakukan untuk mengetahui apakah Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) telah sesuai standar IEEE Std. 80-2000. Di sisi lain juga untuk menginfokan ke masyarakat luas karena dari pihak PLN sendiri tidak melakukan publikasi yang masif terkait keamanan Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) dengan parameter tegangan sentuh dan tegangan langkah.

Sebelumnya, telah dilakukan beberapa penelitian serupa. Pada tahun 2014, Yose Rizal [4] telah melakukan analisis terhadap pengetahanan Gardu Induk Ngimbang Lamongan dengan *Finite Element Method*. Hasil analisis yang didapat adalah gardu ini memenuhi standar IEEE Std. 80-2000 setelah dihitung nilai tegangan sentuh dan tegangan langkahnya dengan bantuan simulasi *software* MATLAB dan CYME-Grd. Selain itu, pada tahun 2017, Jamaluddin Kamal dan Syamsir Abdur [2] melakukan penelitian untuk perancangan sistem pengetahanan pada GIS Pulogadung dengan Finite Element Method. Dalam penelitian ini digunakan bantuan simulasi *software* ETAP 12.6.0. Pada awalnya, sistem pengetahanan gardu induk tidak sesuai standar IEEE Std. 80-2000. Kemudian, dimodifikasi pada bagian *grid*, akhirnya gardu induk tersebut dapat sesuai standar.

1.3. Tujuan Penelitian

Dalam suatu Tugas Akhir, memiliki tujuan penulisan. Adapun, tujuan penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbandingan perhitungan secara analitik dan melalui simulasi *Finite Element Method (FEM)* menggunakan *software* ETAP 12.6.0. dalam segi keamanan.
2. Mengetahui apakah kondisi Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) telah sesuai dengan standar IEEE Std. 80-2000 berjudul *IEEE Guide for Safety in AC Substations Grounding*.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Agar tidak menyimpang dari pokok bahasan yang ditentukan, batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero).
2. Hanya membahas perhitungan sistem pengatanahan pada Gardu Induk Kenten PT. PLN (Persero) menggunakan *Finite Element Method (FEM)*.

3. Perhitungan dilakukan secara analitik dan simulasi *Finite Element Method (FEM)* menggunakan *software* ETAP 12.6.0.
4. Perhitungan menggunakan standar IEEE Std. 80-2000 berjudul *IEEE Guide for Safety in AC Substations Grounding*.
5. Rancangan sistem pentanahan yang dibahas hanya mencakup desain konfigurasi *grid-rod*, tegangan sentuh, dan tegangan langkah.
6. Tahanan jenis tanah pada setiap lapisan diasumsikan seragam.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini terdiri dari lima bab yang secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang berkaitan dengan teori sistem *grounding*, metode *Finite Element Modelling* (FEM), dan sebagainya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang tempat, waktu, peralatan yang digunakan, rangkaian percobaan, prosedur pengujian, teknik pengambilan data dan pengolahan data yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir dan menjelaskan secara umum tentang proses penelitian yang akan dilakukan.

BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan mengenai perhitungan dan analisa yang didapat setelah dilakukan observasi di lapangan dan pencarian data yang dibutuhkan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari penulis yang berdasarkan hasil dari perhitungan dan analisis yang dikerjakan pada Bab IV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Meilah Karmilawati, “Perbandingan Hasil Perhitungan dan Pengukuran Tahanan Sistem Pentanahan Tanpa dan dengan Penambahan Zat Aditif Betonite dan Karbon,” Skripsi, Universitas Sriwijaya, 2018.
- [6] I.R. Putri, T. Haryono, dan E. Firmansyah “Review Metode Pemodelan Elektroda Pentanahan,” Prosiding SNATIF ke-3, pp 197-202, 2016.
- [7] P. Sumardjati, S. Yahya dan A. Mashar, 2008, “Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik untuk Sekolah Menengah Kejuruan,” Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- [8] 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.
- [9] 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.

- [10] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “*IEEE Std. 142-2007. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System,*” 2007.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] M. Mukmin, A. Kali dan B. Mukhlis, “Perbandingan Nilai Tahanan Pentanahan pada Area Reklamasi Pantai (Citraland),” Jurnal MEKTRIK, Vol. 1, No. 1, pp 29-39, 2014.
- [14] Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011.
- [15] A.Pranoto, H. Tumaliang dan G.M.Ch. Mangindaan, “Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling Dengan Konstruksi *Grid* (Kisi-kisi),” Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, Vol. 7, No. 3, pp 189-198, 2018.
- [16] Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000.
- [17] M. Suyanto dan S. Mulyaningsih, “Analisis Resistansi Pentanahan sebagai Upaya untuk Antisipasi Sambaran Petir di Daerah Perbukitan Wilayah Bantul,” Jurnal Teknologi Technoscientia, Vol. 2, No. 1, pp 78-87, 2009.
- [18] A. Syofian, “Sistem Pentanahan *Grid* pada Gardu Induk PLTU Teluk Sirih,” Jurnal Momentum, Vol. 14 No. 1, pp 36-45, 2013.
- [19] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “*IEEE Std. 80-2000. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding,*” 2000.
- [20] R. Zoro, “Induksi dan Konduksi Gelombang Elektromagnetik akibat Sambaran Petir pada Jaringan Tegangan Rendah,” Jurnal Makara Teknologi, Vol. 13, No. 1, pp 25-32, 2009.
- [21] 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.

- [22] I. Hajar dan E. Rahman, “Kajian Pemasangan *Lightning Arrestor* pada Sisi HV Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung,” *Jurnal Energi & Kelistrikan*, Vol. 9, No. 2, pp 168-179, 2017.
- [23] M. Brenna, F. Foiadelli, 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] H. Isworo dan P.R. Ansyah, 2018, “Metode Elemen Hingga,” Universitas Lambung Mangkurat.
- [26] L. Bam dan W. Jewell, “Review: Power System Analysis Software Tools,” *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, pp 1-6, 2005.
- [27] El-Sayed M. El-Refaie, Said E. Elmasry, M.K. Abd Elrahman, dan Mohamed H. Abdo, “*Achievement of The Best Design for Unequally Spaced Grounding Grids*,” *Ain Shams Engineering Journal*, Vol. 6, pp 171-179, 2015.
- [28] 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.
- [29] <https://www.etap.com> (Online), diakses pada 8 Agustus 2019.