

SKRIPSI

**STUDI DAN PEMODELAN FENOMENA *BACKFLASHOVER*
SALURAN TRANSMISI 150 KV DENGAN SISTEM
PENTANAHAN TERKONSENTRASI**



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

Oleh:

SERENAOMI BR SITORUS

03041181621120

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2020

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI DAN PEMODELAN FENOMENA *BACKFLASHOVER*
SALURAN TRANSMISI 150 KV DENGAN SISTEM
PENTANAHAN TERKONSENTRASI**



SKRIPSI


Dibuat Untuk Melengkapi Syarat Wisuda ke-150 Universitas Sriwijaya

Oleh:


SERENAOMI BR SITORUS

03041181621120

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**


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

**Indralaya, Agustus 2020
Menyetujui,
Pembimbing Tugas Akhir**


M. Irfan Jambak, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP: 197110012006041001

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 Irfan Jambak, S.T., M.Eng., Ph.D

Tanggal : _____ / _____ / _____

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Serenaomi Br Sitorus
NIM : 03041181621120
Fakultas : Teknik
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro
Universitas : Sriwijaya

Menyatakan bahwasanya karya ilmiah yang berjudul “Studi dan Pemodelan Fenomena *Backflashover* Saluran Transmisi 150 kV dengan Sistem Pentanahan Terkonsentrasi” merupakan karya sendiri dan dapat dibuktikan keasliannya. Apabila di kemudian hari karya ilmiah ini merupakan hasil plagiat atas karya ilmiah orang lain, maka saya akan bertanggung jawab dan bersedia untuk menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

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

Indralaya, Agustus 2020



Serenaomi Br Sitorus

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan kasih karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**STUDI DAN PEMODELAN FENOMENA *BACKFLASHOVER* SALURAN TRANSMISI 150 KV DENGAN SISTEM PENTANAHAN TERKONSENTRASI**”.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orangtua beserta keluarga yang senantiasa mendoakan kelancaran dalam penulisan skripsi dan mendukung studi penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE selaku rektor Universitas Sriwijaya beserta para staff.
3. Bapak Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S, Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya beserta para staff.
4. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
5. Dosen pembimbing Tugas Akhir Bapak M. Irfan Jambak, S.T, M. Eng, Ph.D yang telah memberikan bimbingan, arahan, kritik, saran, serta bantuan kepada penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
6. Dosen pembimbing akademik Bapak Baginda Oloan Siregar, S.T., M.T, yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan dan penyusunan laporan kerja praktek.
7. Mr. Hans Kr. Høidalen dan Mr. Francisco J. Peñaloza, selaku pembuat program ATPDraw dan tempat berdiskusi di forum untuk Tugas Akhir ini.

8. Bapak Hendri selaku supervisor di Gardu Induk Simpang Tiga yang telah membantu dalam pengukuran dan pengambilan data di lapangan.
9. Teman-teman terdekat penulis di PDO Paradiso Muhajirin yang telah kebersamai selama di Indralaya dan memberikan semangat.
10. Teman-teman pengurus PO Teknik dan TPP, yang telah memberikan doa dan semangat selama saya menjalani perkuliahan, terima kasih buat semua hal baik yang telah dibagikan.
11. Teman-teman Teknik Elektro Universitas Sriwijaya angkatan 2016 terkhusus konsentrasi Teknik Tenaga Listrik (TTL) sebagai teman seperjuangan semasa perkuliahan.
12. Keluarga Tulang Margaret Sinaga dan Op. Boy Sirait beserta seluruh keluarga besar yang telah mendukung studi penulis.
13. Serta pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Indralaya, Agustus 2020

Penulis

ABSTRAK

STUDI DAN PEMODELAN FENOMENA *BACKFLASHOVER* SALURAN TRANSMISI 150 KV DENGAN SISTEM PENTANAHAN TERKONSENTRASI

(Serenaomi Br Sitorus, 03041181621120, 2020, xvii + 70 hal. + lampiran)

Probabilitas sambaran petir langsung pada struktur, relatif tinggi untuk wilayah beriklim tropis seperti Indonesia. Hal ini memungkinkan terjadinya sambaran pada saluran transmisi sehingga menimbulkan surja tegangan lebih yang mengakibatkan *backflashover* (*BFO*). Oleh karena itu perlu dipertimbangkan unjuk kerja saluran. Penelitian ini mengamati fenomena *backflashover* dengan sistem pentanahan terkonsentrasi untuk menganalisis dampak resistansi dan resistivitas tanah, resistansi impuls, serta arus puncak petir minimum yang mengakibatkan *backflashover* pada isolator, sehingga dapat diketahui estimasi jumlah gangguan pada saluran transmisi (*BFOR*) untuk kepentingan unjuk kerja saluran. Dengan simulasi *ATP-EMTP* didapatkan bahwa pada *T382* dengan $R_0 = 8,5 \Omega$ yang merupakan tower terdekat dengan gardu induk, arus minimum *backflashover* untuk fasa-A sebesar 41,3 kA, fasa-B sebesar 31,6 kA, dan fasa-C sebesar 29,0 kA dengan waktu impuls standar IEC. Untuk *BFOR* fasa-A sekitar 0,364 gangguan/100 km/tahun, fasa-B didapatkan sekitar 0,572 gangguan/100 km/tahun, dan fasa-C didapatkan sekitar 0,629 gangguan/100 km/tahun. Sehingga dengan pemodelan menggunakan *ATP-EMTP* dapat memperkirakan unjuk kerja suatu saluran transmisi melalui *backflashover rate* yang didapatkan.

Kata Kunci: *Backflashover*, *ATP-EMTP*, Sistem Pentanahan Terkonsentrasi, *BFOR*.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



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

Indralaya, Agustus 2020
Menyetujui,
Pembimbing Tugas Akhir



M. Irfan Jambak, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP: 197110012006041001

ABSTRACT

STUDY AND MODELLING OF 150 KV TRANSMISSION LINE BACKFLASHOVER PHENOMENA WITH CONCENTRATED GROUNDING SYSTEM

(Serenaomi Br Sitorus, 03041181621120, 2020, xvii + 70 pages. + appendix)

The probability of a direct lightning strike on the structure, is relatively high for tropical regions such as Indonesia. This allows lightning strike on the transmission line, causing an overvoltage which causes a backflashover (BFO). Therefore, it is necessary to consider the lightning performance of the transmission line. This study observes the backflashover phenomenon with concentrated grounding systems to analyze the impact of grounding resistance, soil resistivity, impulse resistance, and the minimum lightning peak current that causes backflashover on the insulator string, and determine the estimated number of strokes on the transmission line (BFOR) for lightning performance. By using ATP-EMTP simulation, it was found that the higher ground resistance will result in a minimum backflashover current, will be smaller. And at T382 with $R_0 = 8.5 \Omega$ which is the closest tower to the substation, the minimum backflashover current for phase-A is 41.3 kA, phase-B is 31.6 kA, and phase-C is 29.0 kA with IEC standard impulse. For BFOR phase-A approximately 0.364 strokes/100 km/year, for phase-B approximately 0.572 strokes/100 km/year and for phase-C is 0.629 strokes/100 km/year. So by modeling using ATP-EMTP, can estimate the lightning performance of a transmission line through the backflashover rate obtained.

Keywords: Backflashover, ATP-EMTP, Concentrated Tower Grounding System, BFOR.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



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

Indralaya, Agustus 2020
Menyetujui,
Pembimbing Tugas Akhir



M. Irfan Jambak, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP: 197110012006041001

DAFTAR ISI

COVER SKRIPSI	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
NOMENKLATUR	xvi
DAFTAR ISTILAH	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Hipotesis	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sistem Pentanahan Saluran Transmisi	6
2.2 Sambaran Langsung dan Sambaran Tidak Langsung	8
2.2.1 Sambaran Langsung pada Kawat Fasa	8
2.2.2 Sambaran Langsung pada Tower Transmisi	9

2.2.3	<i>Flashover dan Backflashover</i>	9
2.3	Dielektrik dan Isolator.....	11
2.4	Karakteristik dan Persamaan Empiris Surja Arus Petir	12
2.4.1	Kepadatan Sambaran Petir ke Tanah	13
2.4.2	Arus Puncak Petir	14
2.4.3	Kecuraman Magnitude Arus Petir	14
2.5	Tegangan Lebih Surja Petir.....	15
2.6	<i>BIL dan BSL</i>	16
2.7	Gelombang Berjalan.....	17
2.7.1	Impedansi Surja	18
2.7.2	Karakteristik Gelombang berjalan.....	20
2.7.3	Sambaran pada Tower Transmisi	22
2.8	<i>ATP-EMTP</i> [20]	22
2.9	Penelitian-Penelitian Sebelumnya.....	24
BAB III		26
METODE PENELITIAN.....		26
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	26
3.2	Metode Penelitian.....	26
3.3	Basis Penelitian	27
3.3.1	<i>Analysis Transient Program - Electromagnetic Transient Program (ATP-EMTP)</i>	27
3.3.2	<i>Single Line Diagram</i>	28
3.3.3	Data Arus Puncak Petir Aktual	28
3.3.4	Data Saluran Transmisi	28
3.3.5	Data Pengukuran Tahanan Tapak Tower.....	32
3.3.6	Tahanan Jenis Tanah	32
3.4	Komponen Pemodelan Yang Digunakan	33
3.4.1	Model Pentanahan Menggunakan Objek <i>TGIR</i>	33
3.4.2	Sumber Injeksi Tegangan Induksi Sambaran Petir	34
3.4.3	Pemodelan <i>String</i> Isolator	36
3.4.4	Pemodelan Saluran Transmisi 150 kV	37
3.5	Rangkaian Simulasi	40

3.6	Prosedur Percobaan	41
3.6.1	Skenario Simulasi	41
3.6.2	Prosedur Pelaksanaan.....	42
3.7	Diagram Alir Mekanisme Simulasi <i>Backflashover</i>	44
BAB IV		45
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		45
4.1	Pendahuluan	45
4.2	Pemodelan Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV	45
4.2.1	Perhitungan Impedansi Surja Kawat Tanah.....	46
4.2.2	Perhitungan Impedansi Surja Saluran Transmisi	47
4.2.3	Perhitungan Impedansi Surja Kawat Fasa atau <i>Cross-Arms</i>	47
4.3	Analisa Data Hasil Simulasi.....	50
BAB V.....		64
PENUTUP.....		64
4.1	Kesimpulan.....	64
4.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Representasi Sistem Pentanahan Terkonsentrasi Akibat Arus Petir . .	6
Gambar 2.2 Gelombang Surja Petir pada Kawat Fasa [4].	8
Gambar 2.3 Sambaran Petir pada Tower.	9
Gambar 2.4 Kurva Volt-time Isolator Saluran [17].	10
Gambar 2.5 Material Isolator Porcelain [18]	11
Gambar 2.6 Polarisasi Material Dielektrik.....	11
Gambar 2.7 Gelombang Tegangan Impuls [4].....	12
Gambar 2.8 Gelombang Parameter Arus Petir [4].	15
Gambar 2.9 Perbandingan Kurva antara Tegangan Lebih Surja Petir dengan Tegangan Lebih Surja Hubung.	15
Gambar 2.10 e dan i Terkait dengan Impedansi Surja Z [15]......	17
Gambar 2.11 Representasi Konduktor Tunggal Saluran Udara [15].	18
Gambar 2.12 Potongan Saluran Transmisi untuk Menentukan Kopling Faktor...	19
Gambar 2.13 Penampang Saluran Transmisi untuk Menghitung Impedansi Surja Tower [17]......	20
Gambar 2.14 Spesifikasi Gelombang Berjalan.	21
Gambar 2.15 (a) Gelombang Sinus Tereadam; (b) Gelombang Tipikal Flash.	22
Gambar 2.16 Main Window dan Komponen Pilihan pada ATPDraw [20].	23
Gambar 3.1 Tampilan ATPDraw.	27
Gambar 3.2 (a) Objek TGIR Group; (b) Kombinasi MODELS dan TACS resistor Type 91.....	33
Gambar 3.3 Data Input Objek TGIR.....	34
Gambar 3.4 Sumber Impuls Petir Tipe <i>Heidler</i>	35
Gambar 3.5 Dialog input <i>Heidler Source</i>	35
Gambar 3.6 Impuls Sambaran Petir 1,5/50 μ s dengan $I_P = 50$ kA.....	36
Gambar 3.7 Kurva V-t Backflashover pada Isolator.....	36
Gambar 3.8 Pemodelan String Isolator.	37
Gambar 3.9 Line Cable Constant, (a) Untuk Span; (b) Untuk Tower.	38
Gambar 3.10 Data Input LCC Untuk Span.	38

Gambar 3.11 Pemodelan Multi-story Tower [30],[5].	39
Gambar 3.12 Data Input Lengan Persilangan Tower.....	39
Gambar 3.13 Rangkaian Simulasi Sambaran pada T382.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Bentuk Gelombang Impuls dan Toleransi Impuls.	16
Tabel 2.2 Data Penelitian Sebelumnya yang Berkaitan dengan Topik Riset yang dilakukan.	25
Tabel 3.1 Spesifikasi Data Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV PT PLN (Persero) dengan Tower Tipe Suspension.	29
Tabel 3.2 Spesifikasi data Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV PT PLN (Persero) dengan Tower Tipe Tension.	30
Tabel 3.3 Spesifikasi Data Kawat Fasa Penghantar Saluran Transmisi.	30
Tabel 3.4 Spesifikasi Data Kawat Tanah Saluran Transmisi.	31
Tabel 3.5 Data Isolator Saluran Transmisi 150 kV.	31
Tabel 3.6 Nilai Tipikal Tahanan Jenis Tanah [25].	32
Tabel 3.7 Penjelasan Skenario Simulasi	41
Tabel 4.1 Parameter Saluran Transmisi Pemodelan Multistory Tower.	49
Tabel 4.2 Tegangan Puncak Setiap Tower ketika Sambaran pada T382 dengan Arus Puncak 20 kA.	52
Tabel 4.3 Tegangan Puncak Setiap Tower ketika Sambaran pada T382 dengan Arus Puncak 28 kA.	53
Tabel 4.4 Tegangan Puncak Setiap Tower ketika Sambaran pada T382 dengan Arus Puncak 29 kA.	54
Tabel 4.5 Hubungan Arus Puncak Petir dengan Tegangan Backflashover pada Tiap Konduktor Fasa.	56
Tabel 4.6 Data Arus Puncak Petir Minimum dengan $R_0 = 8,5 \Omega$	57
Tabel 4.7 Magnitude Tegangan Ketika Terjadi Sambaran pada Setiap Tower. ...	58
Tabel 4.8 Probabilitas Distribusi Arus Petir.	61
Tabel 4.9 Kalkulasi Probabilitas Gangguan Akibat Backflashover.	61

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A1. *Single Line Diagram* Gardu Induk Simpang III.
- Lampiran A2. Tahanan Tapak Tower, Tipe Tower, Jarak Span Tiap Tower, dan *Insulator Stringset*.
- Lampiran A3. Pengukuran Tahanan Tapak Tower SUTT 150 kV.
- Lampiran A4. Struktur Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV PT PLN (Persero).
- Lampiran A5. Program ATP File untuk Komponen MODELS
- Lampiran B1. Grafik Tegangan yang Melintasi *String* Isolator Fasa-C Setiap Tower dengan Arus Puncak Petir 20 kA, 28 kA, dan 29 kA.
- Lampiran B2. Kurva Waktu Muka Tegangan Impuls Isolator T382 Dengan Arus Puncak Petir 40 kA - 100 kA.
- Lampiran B3. Kurva Waktu Muka Tegangan Impuls Isolator T382 dengan Berbagai Standar Waktu Impuls Petir.
- Lampiran B4. Tegangan Hasil Simulasi Setiap Tower dengan Arus Puncak Petir 51,31 kA.
- Lampiran B5. Kurva Waktu Muka Tegangan Impuls Isolator T382 - T372 dengan Arus Puncak Petir 51,31 kA.
- Lampiran B6. Grafik tegangan T382 ketika parameter pada *arms* diberi nilai yang sama.
- Lampiran C1. Perhitungan Probabilitas Distribusi Arus Petir dan Perhitungan Probabilitas Gangguan *Backflashover*.

NOMENKLATUR

- Π_1 : Parameter pentanahan tanpa dimensi
- Π_2 : Parameter pentanahan tanpa dimensi
- $R(I)$: Resistansi impuls, tahanan yang bergantung pada besarnya injeksi arus
- E_0 : Kritisal gradien ionisasi tanah (kV/m)
- $V_{50\%}$: Batas kurva tegangan-waktu backflashover
- N_g : Kepadatan sambaran petir ke tanah/GFD (sambaran/km²thn)
- Z_g : Impedansi surja kawat tanah
- Z_T : Impedansi surja tower
- Z_s : Impedansi surja kawat fasa
- GMD : Geometric Mean Distance
- GMR : Geometric Mean Radius
- γ : Koefisien atenuasi
- r : Faktor redaman resistansi
- $P(I_c)$: Probabilitas distribusi arus petir
- P_{BFO} : Probabilitas terjadinya gangguan backflashover
- BFOR : *Backflashover Rate*
- SFFOR: *Shielding Failure Flashover Rate*
- TGIR : *Tower Grounding Impulse Resistance*

DAFTAR ISTILAH

<i>Backflashover</i>	: Lewat denyar pada isolator akibat resistansi tanah yang tinggi
<i>Fashover</i>	: Lewat denyar pada isolator akibat tegangan lebih pada kawat fasa
<i>Switching</i>	: Pensaklaran pada sistem tenaga
<i>Arching horns</i>	: Proteksi pada ujung saluran dan ground yang berbentuk tanduk kuda
<i>Grounding Impuls</i>	: Penurunan pentanahan secara signifikan akibat injeksi arus impuls
<i>Shielding failure</i>	: Kegagalan perisai
<i>String insulator</i>	: Renteng isolator
<i>Counterpoise</i>	: Batang pentanahan yang berada dalam jarak sekitar 15 – 30 meter dari dasar tower
<i>BFOR</i>	: Jumlah gangguan backflashover per 100 km/tahun
<i>SFFOR</i>	: Jumlah gangguan akibat kegagalan perisai
<i>Fast front transients</i>	: Gejala transien pada sistem dengan frekuensi yang sangat tinggi
<i>TGIR</i>	: Sistem pentanahan yang mempertimbangkan pengaruh resistansi impuls dan ionisasi tanah

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Surja tegangan lebih pada saluran transmisi umumnya disebabkan oleh sambaran petir langsung. Adapula surja tegangan lebih pada sistem tenaga listrik dapat disebabkan oleh sambaran petir langsung, sambaran petir tak langsung, dan operasi *switching*. Surja tegangan lebih ini menghasilkan gelombang berjalan disepanjang saluran transmisi dengan kecepatan cahaya. Pada sebagian besar saluran transmisi tegangan tinggi, sambaran petir langsung merupakan penyebab utama yang dapat mengakibatkan *flashover* maupun *backflashover* sehingga menimbulkan kerusakan sistem jaringan listrik, kegagalan isolasi, dan kerusakan peralatan yang ada pada gardu induk akibat tegangan lebih.

Sambaran petir langsung dapat mengenai kawat fasa, kawat tanah, dan tower. Sambaran petir langsung pada kawat fasa dapat menyebabkan *flashover* apabila tegangan lebih yang terinjeksikan melebihi batas isolasinya, ini diakibatkan oleh *shielding failure* (kegagalan perisai). Sebaliknya dapat terjadi *backflashover* (*flashover* balik), ketika sambaran petir pada tower yang menimbulkan gelombang berjalan dan lonjakan tegangan lebih tidak sepenuhnya terbuang baik ke tanah dikarenakan tingginya resistansi pentanahan pada tower yang terkena sambaran petir [1], [2].

Tingginya sambaran petir atau Intensitas Hari Guruh (*Thunderstrom Days/Keraunic Level*) di Indonesia disebabkan oleh tingkat kelembapan dan curah hujan yang relatif tinggi. Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa dan beriklim tropis mempengaruhi cuaca dan musim [3]. Dengan kelembapan dan jumlah aerosol dari garam laut yang tinggi memudahkan terbentuknya awan petir, juga kebakaran

hutan, serta polutan industri. Hal ini yang dapat memungkinkan terjadinya bahaya yang diakibatkan oleh sambaran petir, terutama pada saluran transmisi. Sistem proteksi pada saluran udara ataupun gardu induk mencakup *ground wire*, pemakaian *arcing-horns*, dan pemasangan *arrester*. Resistansi pentanahan dari sistem *grounding* dan induktansi pada struktur tower saluran transmisi juga memegang peranan penting dalam mengurangi gangguan baik pada saluran transmisi maupun pada gardu induk [4]. Sambaran petir menginjeksikan lonjakan arusnya ke terminasi impedansi tanah/resistansi pentanahan tower. Sistem pentanahan merupakan parameter penting untuk kinerja petir saluran.

Untuk menganalisis fenomena *backflashover* terhadap sistem pentanahan suatu tower saluran transmisi, terdapat beberapa faktor yang perlu dilakukan analisa dan perhitungan, seperti resistansi pentanahan, resistansi impuls tahanan jenis tanah ρ , struktur tanah, ukuran dan model sistem pentanahannya.

Dalam menganalisis fenomena *backflashover* tersebut akan sulit dilakukan secara eksperimental, sehingga dilakukan pemodelan melalui simulasi dari perangkat lunak komputer *ATPDraw (Alternative Transients Program)* dengan mendapatkan beberapa parameter dari data aktual di lapangan PT PLN (Persero) Unit Pelayanan Transmisi Palembang serta melakukan validasi data awal melalui simulasi.

1.2 Perumusan Masalah

Besaran lonjakan tegangan lebih surja petir sulit untuk diamati secara eksperimental [5]. Sehingga dilakukan pemodelan saluran transmisi menggunakan perangkat lunak *ATPDraw (Alternative Transients Program)* atau *ATP-EMTP (Electromagnetic Transients Program)*. Penelitian ini akan melihat pengaruh resistivitas tanah terhadap arus petir minimum yang dapat mengakibatkan *backflashover* pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), dengan menggunakan sebuah ojek yang telah dikembangkan oleh Zacharias G. Datsios et al [1]. Dengan simulasi tersebut maka akan dilihat magnitude gelombang dan amplitudo yang dihasilkan.

Simulasi *ATP-EMTP* saluran transmisi sirkuit ganda pada penelitian ini dimodelkan dengan tipe *Bergeron*. Pada dasarnya model *Bergeron*, didasarkan pada metode gelombang berjalan pada parameter terdistribusi L-C dengan *lumped resistance*. Model *Bergeron* domain waktu ini biasanya digunakan dalam analisis gangguan transien pada sistem saluran [6]. Impedansi surja dan kecepatan rambat tower pada penelitian ini diterapkan model *Multi-story Tower Japanese Guideline* [7]. Setiap bagian tower direpresentasikan oleh model parameter terdistribusi.

Dalam studi ini, akan menganalisa pengaruh pentanahan terhadap arus minimum yang dapat menyebabkan *backflashover* pada tower dengan menggunakan objek *TGIR (Tower Grounding Impulse Resistance)* pada *ATPDraw*. Adapun beberapa model parameter sistem pentanahan terkonsentrasi [8]–[14] terdapat pada objek ini. Dengan objek yang telah dikembangkan tersebut, maka sistem pentanahan dapat dimodelkan lebih efisien dan akurat.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Studi dan pemodelan Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV beserta sistem pentanahan menggunakan perangkat lunak *Analysis Transient Program-Electromagnetic Transient Program (ATP-EMTP)*.
2. Mengetahui magnitudo tegangan dan waktu *backflashover* beserta arus petir minimum yang dapat menyebabkan *backflashover* pada saluran transmisi.
3. Menganalisis dampak resistansi pentanahan dan resistivitas tanah saluran transmisi terhadap arus minimum yang mengakibatkan *backflashover* pada rantai isolator.
4. Mengetahui perkiraan jumlah gangguan pada saluran transmisi (*BFOR*) untuk kepentingan unjuk kerja saluran transmisi.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Lingkup kerja pada penelitian ini adalah:

1. Pemodelan saluran transmisi menggunakan data sekunder spesifikasi yang didapat dari PT PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk Simpang Tiga. Adapun data yang digunakan berupa data tower, konduktor/penghantar yang digunakan, jenis isolator serta besaran tahanan tapak tower SUTT.
2. Membuat pemodelan dan simulasi saluran transmisi menggunakan *ATPDraw* atau *ATP-EMTP* dengan sistem pentanahan terkonsentrasi.
3. Analisis yang dilakukan dengan mengamati beberapa parameter yakni pengaruh perubahan jenis tanah terhadap *backflashover*, pengaruh perubahan nilai tahanan pada *low-current and low-frequency* dan pengaruh perubahan waktu impuls terhadap efek dari *backflashover* serta magnitude surja tegangan lebih pada tower transmisi.

1.5 Hipotesis

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan [1] surja tegangan *backflashover* dari saluran transmisi yang terkoneksi dengan Gardu Induk 150 kV, bergantung pada resistansi impuls dari saluran transmisi yang bervariasi dari segi bentuk gelombang dan amplitudo berdasarkan beberapa model sistem pentanahan tower. Pada penelitian Datsios Z. G et al tersebut, didapatkan bahwa objek *TGIR* pada *ATP-EMTP* yang telah dikembangkannya dapat bermanfaat untuk menganalisis sistem pentanahan saluran transmisi dalam beberapa kondisi.

Objek *TGIR* yang digunakan dalam simulasi *ATP-EMTP* dapat menilai surja *backflashover* yang timbul pada saluran udara tegangan tinggi untuk mengetahui kinerja saluran yang berdasarkan beberapa pemodelan dari berbagai literatur dan mengetahui respon pemodelan pentanahan dengan kondisi tanah yang berbeda-beda. Sehingga dengan objek *TGIR* yang telah dikembangkan untuk beberapa pemodelan pentanahan terkonsentrasi dapat diamati.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam tugas akhir ini adalah 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 teori dasar sistem pentahanan saluran transmisi, karakteristik surja arus petir, sambaran petir langsung dan tidak langsung, tegangan lebih, *flashover* dan *backflashover*, gelombang berjalan, pengaruh tegangan lebih pada SUTT dengan parameter *grounding resistance*, dan *software ATP-EMTP*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang waktu dan lokasi penelitian, basis penelitian, pemodelan simulasi, teknik pengambilan data dan pengolahan data yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir dan menjelaskan secara umum tentang proses penelitian yang akan dilakukan beserta diagram alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan secara umum tentang data yang diperoleh dari hasil penelitian tentang percobaan yang dilakukan serta menampilkan grafik dan gambar dari hasil percobaan yang dilakukan.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dari hasil percobaan yang dilakukan dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. G. Datsios, P. N. Mikropoulos, and T. E. Tsovilis, "Impulse Resistance of Concentrated Tower Grounding Systems Simulated by an ATPDraw Object - IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Committee," *Pap. Submitt. to Int. Conf. Power Syst. Transients Delft, Netherlands June 14-17, 2011*, no. June, pp. 2–6, 2011.
- [2] M. A. Malelak and R. Zoro, "Lightning protection system for high voltage transmission line in area with high grounding resistance," *Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. ICHVEPS 2017 - Proceeding*, vol. 2017-Janua, no. 2, pp. 350–355, 2017.
- [3] Subardjo, *Pengetahuan Bahaya Petir - Badan Meteorologi dan Geofisika*. Jakarta, 2005.
- [4] R. Zoro, *Sistem Proteksi Petir pada Sistem Tenaga Listrik*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya, 2018.
- [5] A. Ametani and T. Kawamura, "A method of a lightning surge analysis recommended in Japan using EMTP," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 20, no. 2 I, pp. 867–875, 2005.
- [6] N. Z. Saharuddin, Junainah, Imran, and M. Faizuhar, "Modelling of 132 kV Overhead Transmission Lines by using ATP/EMTP for Shielding Failure Pattern Recognition," *Malaysian Tech. Univ. Conf. Eng. Technol. 2012, MUCET 2012*, vol. 53, pp. 278–287, 2013.
- [7] K. Murotani, T. Kouno, T. Higuchi, and K. Shiokawa, "Multistory Transmission Tower Model for Lightning Surge Analysis," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 6, no. 3, pp. 1327–1335, 1991.
- [8] CIGRE Report 63, "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines," *CIGRE Rep. 63*, vol. 01, no. October,

1991.

- [9] A. V. Korsuntsev, "Application of the theory of similitude to the calculation of concentrated earth electrodes," *Elektrichestvo*, vol. 5, pp. 31–35, 1958.
- [10] F. Popolansky, "Determination of impulse characteristics of concentrated electrodes," *CIGRE SC 33-86 (WG 01) IWD 22*, 1986.
- [11] E. E. Oettle, "A new general estimation curve for predicting the impulse impedance of concentrated earth electrodes," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 3, no. 4, 1988.
- [12] W. A. Chisholm and W. Janischewskyj, "Lightning surge response of ground electrodes," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 4, no. 2, pp. 1329–1337, 1989.
- [13] P. Chowdhuri, "Grounding for protection against lightning," in *Electromagnetic transients in power systems*, Res. Stud. Press Ltd., John Wiley sons inc., New York, pp. 104–113, 1996.
- [14] K. H. Weck, "The current dependence of tower footing resistance," *CIGRE 33-88 (WG01)*, p. 14 IWD, 1988.
- [15] A. R. Hileman and F. Group, *Insulation Coordination for Power Systems*. CRC Press; 1 edition (June 15, 1999), 1999.
- [16] T. S. Hutauruk, *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Bandung: Erlangga, 1989.
- [17] IEEE Working Group, W. I.S. Grant, Power Technologies, Inc., (Chairman); J.G. Anderson, General Electric Co.; A.R. Hileman, P. E. Whitehead, and J. T. Whitehead, "A simplified method for estimating lightning performance of transmission lines," *IEEE Trans. Power Appar. Syst. Vol. PAS-104, No. 4, April 1985*, vol. PAS-104, N, pp. 1–15, 1985.
- [18] C. R. Bayliss, B. J. Hardy, C. R. Bayliss, and B. J. Hardy, "Chapter 6 – Insulators," *Transm. Distrib. Electr. Eng.*, pp. 171–188, 2012.
- [19] G. C. Psarras, *Fundamentals of dielectric theories*. Elsevier Inc., 2018.
- [20] L. Prikler and H. K. Høidalen, "ATP Draw version 3.5 - User Manual," no.

1, 2002.

- [21] H. K. Høidalen and NTNU-Norway, “ATPDraw: Graphical preprocessor to ATP.” [Online]. Available: <https://www.atpdraw.net/index.php>. [Accessed: 31-Oct-2019].
- [22] Y. M. Nugroho, M. Facta, and A. Syakur, “Penggunaan ATPDraw 3.8 Untuk Menentukan Jumlah Gangguan pada Saluran Transmisi 150 kV Akibat Backflashover,” *Jur. Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Diponegoro Semarang*, vol. 18, no. 1, pp. 15–21, 2016.
- [23] Z. G. Datsios, P. N. Mikropoulos, T. E. Tsovilis, and S. I. Angelakidou, “Effect of Concentrated Tower Grounding System Modeling on the Minimum Backflashover Current and BFR of 150 and 400 kV Overhead Transmission Lines,” *ICHVE 2018 - 2018 IEEE Int. Conf. High Volt. Eng. Appl.*, pp. 1–4, 2019.
- [24] Z. G. Datsios, P. N. Mikropoulos, T. E. Tsovilis, V. T. Karakostas, and S. P. Mavidou, “Estimation of the Minimum Backflashover Current of 150 and 400 kV Overhead Transmission Lines Through ATP-EMTP Simulations: Effect of the Lightning Stroke Location Along Line Spans,” *Proc. 21st Int. Symp. High Volt. Eng.*, vol. 1, p. 9, 2020.
- [25] S. Siregar, “Analisa Aplikasi Arrester Sebagai Alat Proteksi pada Gardu Induk 150 kV PT PLN WS2JB terhadap Gangguan Petir,” Palembang, 2015.
- [26] S. Bartien and Badan Standarisasi Nasional, “Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000,” *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2000, no. Puil, pp. 1–133, 2000.
- [27] L. V. Bewley, *Traveling Waves on Transmission Systems*, 2nd Editio. New York: Jhon Wiley, 1951.
- [28] B. Marungsri, S. Boonpoke, A. Rawangpai, A. Oonsivilai, and C. Kritayakornupong, “Study of Tower Grounding Resistance Effected Back Flashover to 500 kV Transmission Line in Thailand by using ATP/EMTP,” *Int. J. Energy Power Eng.*, vol. 2, no. 6, p. 2, 2009.

- [29] A. F. Imece *et al.*, “Modeling guidelines for fast front transients,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 11, no. 1, pp. 493–501, 1996.
- [30] S. Sitorus, *Foto Saluran Transmisi T372 dan T382 PT PLN (Perseor), ULTG Simp. Tiga*. 2020.
- [31] O. E. Gouda and N. A. Elshesheny, “Simulation of the Lightning Back-Flashover for Medium Voltage Distribution Network,” vol. 3, no. 2, pp. 264–272, 2016.
- [32] J. A. Martinez and Velasco, *Power System Transients - Parameter Determination*. Barcelona, Spain: CRC Press; 1 edition (June 15, 1999), 2010.
- [33] Z. Wang, L. Li, L. X. Gan, N. Li, and H. T. Li, “Research on lightning over-voltage protection for 500kV GIS substation,” *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, pp. 1–5, 2009.
- [34] F. M. Gatta, A. Geri, S. Lauria, and M. Maccioni, “Effect of corona and non-linear tower grounding system modelling on backflashover simulation,” *2014 Int. Conf. Light. Prot. ICLP 2014*, pp. 220–225, 2014.
- [35] S. Astinfeshan, A. Gholami, and M. Mohajeri, “Analysis of corona effect on lightning performance of HV overhead transmission line using ATP/EMTP,” *ICEE 2012 - 20th Iran. Conf. Electr. Eng.*, no. Icee20 12, pp. 485–488, 2012.
- [36] T. S. Hutaaruk, *Transmisi Daya Listrik*, 4th Editio. Bandung: Erlangga, 1996.
- [37] T. Hara and O. Yamamoto, “Modelling of a transmission tower for lightning surge analysis,” *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.*, 1996.
- [38] F. H. Silveira, S. Visacro, and R. E. De Souza Filho, “Calculation of backflashover outage rate of transmission lines: A discussion on traditional methodologies and recent advances,” *2015 Int. Symp. Light. Prot. XIII SIPDA 2015*, pp. 226–230, 2015.