

**PEMODELAN ARUS SAMBARAN PETIR TERHADAP  
SISTEM PROTEKSI TOWER TELEKOMUNIKASI  
MENGUNAKAN SOFTWARE ATP DRAW**

**TESIS**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister Teknik  
Dalam Bidang Teknik Elektro

**Oleh:**

**RIZA RIA WIRASARI**

**NPM : 1920080002**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2022**

## PENGESAHAN TESIS

Nama : **RIZA RIA WIRASARI**  
NPM : **1920080002**  
Program Studi : **Magister Teknik Elektro**  
Konsentrasi : **Manajemen Energi Listrik**  
Judul Tesis : **PEMODELAN ARUS SAMBARAN PETIR TERHADAP  
SISTEM PROTEKSI TOWER TELEKOMUNIKASI  
MENGUNAKAN SOFTWARE ATP DRAW**



*Pengesahan Tesis*

Medan, 21 Maret 2022

**Komisi Pembimbing**

Pembimbing I

Pembimbing II

**Assoc. Prof. Dr. Ir. SURYA HARDI, M.Sc.**

**ROHANA, ST., M.T.**

**Diketahui**

Direktur

Ketua Program Studi

**Prof. Dr. TRIONO EDDY, S.H., M.Hum.**

**Assoc. Prof. Dr. Ir. SUWARNO, M.T.**

**PENGESAHAN**

**PEMODELAN ARUS SAMBARAN PETIR TERHADAP SISTEM  
PROTEKSI TOWER TELEKOMUNIKASI MENGGUNAKAN  
SOFTWARE ATP-DRAW**

**RIZA RIA WIRASARI**  
**NPM : 1920080002**

Program Studi : Magister Teknik Elektro

“Tesis ini telah dipertahankan di Hadapan Komisi Penguji yang dibentuk oleh Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dinyatakan Lulus dalam Ujian Tesis dan berhak menyandang Gelar Magister Teknik Elektro (M.T) Pada Hari Senin, Tanggal 21 Maret 2022”

*Komisi Penguji*

1. Assoc. Prof. Dr. Ir. SUWARNO, M.T.  
Ketua

1. ....

1. Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak, S.T., M, Sc  
Sekretaris

2. ....

2. Assoc. Prof. Dr. Ir. SYAFRUDDIN HASAN, M.Sc  
Anggota

3. ....

**PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN**  
**PEMODELAN ARUS SAMBARAN PETIR TERHADAP SISTEM**  
**PROTEKSI TOWER TELEKOMUNIKASI MENGGUNAKAN**  
**SOFTWARE ATP DRAW**

Dengan ini penulis menyatakan bahwa:

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Magister Ilmu Komunikasi Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara benar merupakan hasil karya peneliti sendiri.
2. Tesis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara maupun di perguruan tinggi lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komisi Pembimbing dan masukan Tim Penguji
4. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya penulis sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, penulis bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang penulis sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Medan, 18 Januari 2022

Penulis

Riza Ria W.

(NPM. 1920080002)



## PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur dan kerendahan hati, tesis ini saya persembahkan kepada :

- ✚ Orang tua, yang telah memberikan doa-doa terbaiknya dan telah memberikan dukungan yang luar biasa.
  - ✚ Suami dan anak-anak, yang telah memberikan dukungan dan doa yang luar biasa.
  - ✚ Team BKMG Medan
  - ✚ Teman-teman PPs UMSU yang telah memberikan warna dan kisah cerita yang tidak terlupakan.
  - ✚ Almamater UMSU yang telah membentuk penulis menjadi lebih baik.
- 

"Apabila Anda berbuat kebaikan kepada orang lain, maka Anda telah berbuat baik terhadap diri sendiri."

-Benyamin Franklin-

"Sesuatu yang belum dikerjakan, seringkali tampak mustahil; kita baru yakin kalau kita telah berhasil melakukannya dengan baik."

-Evelyn Underhill-

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul **“Pemodelan Arus Sambaran Petir terhadap Sistem Proteksi Tower Telekomunikasi Menggunakan Software ATP DRAW”**, yang merupakan salah satu syarat kelulusan bagi Mahasiswa untuk menyanggah gelar Magister.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyajian Tesis ini. Sehingga apa yang sudah ditulis di dalam Tesis menjadi suatu kebanggaan bagi Penulis apabila ada kritik dan saran yang dapat membantu ataupun menambah wawasan dalam kesempurnaan penulisan Tesis ini.

Pada kesempatan ini penulis dengan rasa hormat dan memberikan penghargaan yang tulus serta mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Triono Eddy, S.H., M.Hum, selaku Direktur Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak, S.T., M, Sc, selaku Wakil Direktur Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Assoc. Prof. Dr. Ir. Suwarno, M.T, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4. Bapak Assoc. Prof. Dr. Ir. Surya Hardi, M. Sc, selaku Dosen Pembimbing I.
5. Ibu Rohana, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II,
6. Suamiku Iwan Kurniawan, SPsi, anak-anaku Arya Kamandanu, Arjuna Mahesa Wirawan, Arunika Az-Zahra dan adikku Muhammad Ramadhani yang selalu menjadi motivasi dan membantu dalam menyelesaikan tesis ini.
7. Orang tua dan mertua yang selalu memberikan restu dan doanya sepanjang perjalanan hidup dan dalam menempuh perkuliahan ini.
8. Rekan-rekan sejawat Mahasiswa Pascasarjana Program Studi Teknik elektro Angkatan 2019 yang memberikan dukungan dan informasi bagi penulis dalam penyelesaian Tesis ini.
9. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tesis ini.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang setimpal atas segala jasa dan kebaikan serta bantuan yang telah dibeikan dengan tulus dan ikhlas kepada penulis.

Akhir kata penulis berharap semoga Tesis ini dapat berguna dan bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Medan, Februari 2022

Penulis,

Riza Ria Wirasari

# PEMODELAN ARUS SAMBARAN PETIR TERHADAP SISTEM PROTEKSI TOWER TELEKOMUNIKASI MENGUNAKAN SOFTWARE ATP DRAW

Riza Ria Wirasari

NPM : 1920080002

## ABSTRAK

*Tower* BTS (Base Transceiver Station) merupakan bangunan yang tinggi dengan ketinggian minimal 25 Meter yang berfungsi sebagai penghubung antara satu BTS dengan BTS lainnya. *Tower* BTS dilengkapi dengan sistem proteksi eksternal dan internal yang didesign sesuai dengan Standar Nasional Indonesia. Perangkat telekomunikasi dan *Tower* BTS sangat rentan mengalami kerusakan yang disebabkan oleh sambaran petir secara langsung. Pada saat *tower* BTS disambar petir secara langsung, maka arus lebih akan mengalir pada sistem yang berasal dari surja petir. Arus Surja petir akan terdistribusi ke saluran daya dan saluran radio yang dikoneksikan ke sistem pentanahan dengan metode *bounding bar*. Dalam hal ini, untuk melindungi saluran daya dan saluran peralatan radio dari kerusakan akibat arus lebih, maka dipasang alat pemotong arus surja petir yang yaitu arrester *Metal Oxide Arrester Varistor* (MOV). Pada penelitian ini untuk mengetahui kapasitas arus surja arrester yang dibutuhkan pada setiap saluran daya dan sistem pentanahan pada *tower* BTS dengan menggunakan simulasi dengan menggunakan software Program Transien Elektromagnetik (ATP-EMTP) atau yang dinamakan dengan *ATP Draw*. *ATP Draw* merupakan program grafis dari *Elektromagnetic Transient Program* (EMTP) untuk *Window*. Adapun *Software Alternating Transient Program* digunakan untuk simulasi digital dari gelombang impuls. Pada *software* ini memodelkan sistem proteksi petir dalam bentuk rangkaian listrik, dan bentuk gelombang impuls petir terhadap rangkaian sistem proteksi petir. menganalisa sistem proteksi petir pada menara BTS dengan melakukan simulasi yang menggunakan software *ATP Draw*. Dari hasil simulasi didapatkan arus yang melewati saluran daya sebesar 66,55 % untuk standar *IEC 62305*, sedangkan untuk standar *CIGRE* arus pada saluran daya mengalami penurunan sebesar 56,001%. Dari hasil simulasi juga didapatkan nilai arus yang berada pada sistem pentanahan juga mengalami penurunan arus sebesar 99,195% untuk standar *IEC 62305* dan 98,86% untuk standar *CIGRE*. Manfaat pemodelan yang menggunakan *ATP Draw* untuk mengetahui nilai arus yang mengalir pada saluran daya pada *tower* BTS dan jarak area proteksi dari sistem proteksi eksternal.

**Kata Kunci** : Base Tranceiver Station, Software Alternating Transient Program, Sistem Proteksi Petir, Petir



# **MODELLING OF LIGHTNING STRIKE CURRENT ON THE PROTECTION SYSTEM OF TELECOMMUNICATION TOWER USING ATP DRAW SOFTWARE**

**Riza Ria Wirasari**

**NPM : 1920080002**

## **ABSTRACT**

BTS (Base Transceiver Station) tower is a building with a minimum height of 25 meters that serves as an intermediary between one BTS and another. BTS towers are equipped with external and internal protection systems designed following the Indonesian National Standards. Due to lightning strikes, telecommunications equipment and BTS towers are vulnerable to damage. When lightning directly strikes the BTS tower, the overcurrent will flow in the system originating from the lightning surge. The bounding bar method will distribute the lightning surge current to power lines and radio lines connected to the grounding system. In this case, to protect the power lines and radio equipment lines from damage due to overcurrent, a lightning-surge-current-cutting device is installed called the Metal Oxide Arrester Varistor (MOV). This study aims to determine the arrester surge current capacity required for each power line and grounding system in BTS towers, using a simulation with the Electromagnetic Transient Program (ATP-EMTP) software, the ATPDraw. ATPDraw is a graphical program from the Electromagnetic Transient Program (EMTP) for the Microsoft Windows operating system. The Alternating Transient Program software is used to simulate impulse waves digitally. This software models the lightning protection system in the form of an electrical circuit, the waveform of the lightning impulse against the lightning protection system circuit, and analyzes the lightning protection system in BTS towers by performing simulations using the ATPDraw. The simulation results obtained the current through the power line of 66.55% for the IEC 62305 standard. In contrast, for the CIGRE standard, the current in the power line decreased by 56.001%. The simulation results also obtained the current value in the grounding system, which decreased by 99.195% for the IEC 62305 standard, and 98.86% for the CIGRE standard. Modeling using ATPDraw is useful for determining the value of the current flowing in the power line on BTS towers and the distance of the protection area from the external protection system.

**Keywords:** Base Transceiver Station, Alternating Transient Program Software, Lightning Protection System, Lightning.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
PENGESAHAN PENGUJI .....	iii
PENGESAHAN TESIS .....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN .....	v
HASIL PENGECEKAN TURNITIN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR SIMBOL .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xviii
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 . Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 . Identifikasi Masalah .....	4
1.3 . Rumusan Masalah .....	4
1.4 . Batasan Masalah .....	5
1.5 . Tujuan Penelitian .....	5
1.6 . Manfaat Penelitian .....	5
1.7 . Spesifikasi Sistem/produk .....	6
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA	
2.1 . Fenomena Petir .....	7

2.2 . Tahapan Sambaran Petir ke Tanah .....	7
2.3 . Mekanisme Sambaran Petir .....	9
2.4 . Karakteristik Surja Arus Petir .....	10
2.4.1. Pengaruh Polaritas Awan .....	10
2.4.2. Bentuk Arus Petir .....	12
2.4.3. Parameter Petir .....	12
2.5 . Kerusakan Akibat Adanya Sambaran Petir .....	16
2.5.1. Kerusakan Terhadap Bangunan .....	16
2.5.2. Kerusakan Terhadap Peralatan Elektronik .....	19
2.5.2.1. Sambaran Langsung .....	19
2.5.2.2. Sambaran Tidak Langsung .....	19
2.5.3. Zona yang akan diproteksi .....	22
2.6 . Base Transceiver Station .....	25
2.6.1. Tower/ Menara BTS .....	25
2.6.2. Shelter .....	26
2.6.3. Rectifier & Battery System .....	27
2.7 . Sistem Proteksi Petir .....	28
2.7.1. Sistem Proteksi Petir Internal .....	28
2.7.2. Sistem Proteksi Eksternal .....	32
2.7.2.1. Terminasi Udara (Air Terminal) .....	33
2.7.2.2. Konduktor Penyalur Arus Petir .....	38
2.7.2.3. Sistem Pentanahan .....	41
2.7.2.3.1. Elektroda Batang .....	43
2.7.2.3.2. Elektroda Pelat .....	46
2.7.2.3.3. Elektroda Pita .....	47
2.8 . Software Alternative Transient Program (ATP).....	48
2.9 . Data Sambara Petir .....	49
2.10. Jumlah Sambaran Petir .....	50
2.11. Peta Sambaran Petir .....	51

### BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	52
3.2. Populasi dan Sampel .....	53
3.2.1. Populasi .....	53
3.2.2. Sampel .....	53
3.3. Definisi Operasional Variabel .....	55
3.4. Teknik Pengumpulan Data .....	56
3.5. Teknik Analisa Data .....	56
3.5.1. Air Terminal .....	56
3.5.2. Down Conductor .....	57
3.5.3. Sistem Pentanahan .....	58
3.6. Pemodelan/ Simulasi Sambaran Petir Terhadap Sistem Proteksi Eksternal .....	59
3.7. Diagram Alir Kerangka Penelitian .....	62

### BAB 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan dan Analisis Resiko Terhadap Sambaran Petir Langsung .....	64
4.1.1. Perhitungan Resiko Terhadap Sambaran Langsung .....	65
4.1.2. Analisis Resiko Terhadap Sambaran Langsung .....	66
4.2. Perhitungan dan Analisis Daerah Proteksi Petir pada Menara BTS .....	66
4.2.1. Perhitungan Daerah Proteksi Petir pada Menara BTS .....	67
4.2.2. Analisis Daerah Proteksi Petir pada Menara BTS .....	70
4.3. Perhitungan Beban Korosi Pada Terminasi Udara .....	71
4.4. Perhitungan Beban Korosi Pada Konduktor Penyalur .....	73
4.5. Perhitungan Tegangan Jatuh Pada Elektroda Plat Pentanahan .....	74
4.6. Perhitungan Tahanan pada Konduktor Penyalur .....	75
4.7. Perhitungan Tahanan pada Sistem Pentanahan .....	76
4.8. Perhitungan Induksi pada Kabel Penyalur .....	81

4.9. Data Hasil Pengukuran Resistansi Sistem Proteksi Eksternal	
Menara BTS .....	82
4.10. Simulasi dengan ATP Draw .....	83
4.10.1. Pemodelan Saluran Daya .....	83
4.10.2. Pemodelan Sistem Pentanahan .....	85
4.1. Arrester sebagai Proteksi Internal Perangkat Telekomunikasi .....	88
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. KESIMPULAN .....	91
5.2. SARAN .....	93
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR SIMBOL

$I_{max}$	Arus puncak (kA)
V	Tegangan objek sambaran (kV)
$R_{imp}$	Tahanan pentanahan ( $\Omega$ )
$V_{ind}$	Tegangan induktansi (kV)
L	Induktansi metal/kabel (henry)
di/dt	Laju kenaikan arus terhadap waktu/kecuraman arus petir (s)
Q	Muatan total/ Muatan petir (C)
I	Arus petir (kA)
$d_t$	Waktu ( $\mu s$ )
E	Energi spesifik (MJ/ $\Omega$ )
W	Energi petir (J)
R	Tahanan sistem yang dilewati arus petir ( $\Omega$ )
$\Delta_{\delta}$	Kenaikan temperatur (K)
$\alpha$	Koefisien temperatur pada tahanan (1/K)
$\rho$	Tahanan ohmic spesifik pada temperature sekitar ( $\Omega m$ )
q	Luas penampang penghantar penyalur ( $m^2$ )
$\gamma$	Rapat massa ( $kg/m^3$ )
$C_w$	Rapasitas panas spesifik (J/kg.K)
v	Volume pelelehan logam ( $m^3$ )
$\theta$	Temperatur leleh ( $^{\circ}C$ )
$C_s$	Panas lebih spesifik (J/Kg)
Q	Muatan listrik (C)

$V$	Tegangan (Volt)
$V_{ind}$	Tegangan induksi (Volt)
$l$	Panjang penghantar (m)
$a$	jari-jari penghantar (m)
$N_g$	Kerapatan sambaran petir ( $km^2/tahun$ )
$T_d$	Jumlah hari guruh rata-rata pertahun di daerah tempat struktur yang akan diproteksi (tahun)
$A_e$	Area cakupan dari struktur ( $m^2$ )
$h$	tinggi menara BTS (m)
$E$	Efisiensi SPP
$F_p$	Faktor Perlindungan
$BIL$	Basic Insulation Level
$r_{sb}$	Radius bola bergulir (m)
$R_1$	Radius proteksi bola bergulir (m)
$R_2$	Radius terjauh objek/bangunan terhadap penangkal petir (m)
$\alpha$	Sudut perlindungan ( $^\circ$ derajat)
$h_{bangunan}$	Tinggi bangunan (m)
$r_s$	Jarak Sambar (m)
$R_{kp}$	Resistansi tahanan ( $\Omega$ )
$\rho_{kon}$	Resistifitas konduktor ( $\Omega$ )
$l$	Panjang konduktor (m)
$A$	Luas Penampang konduktor (m)

$C_{rod}$	Kapasitansi batang rod (F)
$\epsilon_r$	Konstansta dielektrik tanah (4 untuk tanah kering/humus)
$R_p$	Tahanan pentanahan pelat ( $\Omega$ )
$\rho_{tanah}$	Tahanan jenis tanah ( $\Omega m$ )
$L_p$	Panjang pelat (m)
$W_p$	Lebar pelat (m)
$T_p$	Tebal pelat (m)



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proses sambaran petir .....	8
Gambar 2.2. Sambaran petir terhadap benda pada permukaan bumi.....	9
Gambar 2.3. Tipe-tipe arus sambaran .....	11
Gambar 2.4. Gelombang surja arus dan tegangan .....	12
Gambar 2.5. Arus petir (Standard SNI IEC 62305) .....	13
Gambar 2.6. Tower/menara sentral tampak depan dan atas .....	26
Gambar 2.7. <i>Layout existing shelter</i> dan <i>BTS outdoor</i> .....	27
Gambar 2.8. <i>Rectifier</i> dan <i>BTS outdoor cabinet</i> .....	28
Gambar 2.9. <i>Arrester</i> pada perangkat BTS .....	31
Gambar 2.10. <i>Arrester</i> pada perangkat BTS .....	32
Gambar 2.11. Detail <i>air terminal tower</i> telekomunikasi .....	33
Gambar 2.12. Metode bola bergulir dan area proteksi (standar IEC 62305) .....	34
Gambar 2.13. Daerah lindung metode bola bergulir .....	37
Gambar 2.14. Kabel kawat tembaga murni BC dan NYY .....	38
Gambar 2.15. Kabel penghantar aluminium AAC .....	39
Gambar 2.16. Konfigurasi rangkaian ekuivalen penyalur arus petir dan air terminal melalui <i>down conductor</i> .....	40
Gambar 2.17. Elektroda tunggal dan <i>cad welding</i> .....	43
Gambar 2.18. Pembumian dengan menggunakan dua batang elektroda .....	45

Gambar 2.19. Elektroda plat .....	47
Gambar 2.20. Elektroda pita .....	48
Gambar 2.21. Tampilan <i>software ATP Draw</i> .....	49
Gambar 2.22. <i>Lightning detector</i> dan <i>software lightning 2000</i> .....	50
Gambar 2.23. Gambar grafik jumlah sambaran petir (CG – dan CG +) pada lokasi penelitian .....	51
Gambar 2.24. Gambar peta sambaran petir di kantor MSC SMARTFREN....	51
Gambar 3.1. Kantor MSC SMARTFREN .....	52
Gambar 3.2. Structur existing sistem proteksi <i>tower</i> BTS .....	54
Gambar 3.3. Model surja petir tipe Heidler .....	59
Gambar 3.4. Model konduktor penyalur .....	60
Gambar 3.5. Model sistem pentanahan .....	60
Gambar 3.6 . Diagram alir kerangka penelitian .....	62
Gambar 4.1. Area proteksi dari sistem penangkal petir .....	70
Gambar 4.2. Rangkaian seri kabel penyalur ( <i>air terminal</i> ) .....	71
Gambar 4.3. Layout elektroda pentanahan pada <i>tower</i> BTS .....	78
Gambar 4.4. Pemodelan saluran daya .....	83
Gambar 4.5. Hasil simulasi arus surja petir pada saluran daya (Standar IEC 1.2 x 50 $\mu$ s).....	84
Gambar 4.6. Hasil simulasi arus surja petir pada saluran daya (Standar CIGRE 3.3 x 77.5 $\mu$ s) .....	85

Gambar 4.7. Pemodelan saluran pentanahan .....	86
Gambar 4.8. Hasil simulasi arus surja petir pada saluran pentanahan (Standar IEC 1.2 x 50 $\mu$ s).....	87
Gambar 4.9. Hasil simulasi arus surja petir pada saluran pentanahan (Standar CIGRE 3.3 x 77.5 $\mu$ s) .....	87
Gambar 4.10. Pemodelan saluran radio .....	89

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Parameter Petir Menurut Standar IEC 62305/ 2006 .....	15
Tabel 2.2. Standar Gelombang Petir .....	16
Tabel 2.3. Karakteristik Tipikal Komponen Bahan Sistem Proteksi Petir .....	19
Tabel 2.4. Efisiensi Sistem Proteksi Petir .....	24
Tabel 2.5. Parameter Arus Puncak Berdasarkan SNI-03-7014-2004 .....	24
Tabel 2.6. Penempatan Terminasi Udara Berdasarkan Level Tingkat Proteksi Petir .....	24
Tabel 2.7. Sudut Lindung Menurut Standar IEC-62305 .....	37
Tabel 2.8. Kabel Penghantar Sistem Proteksi Petir .....	40
Tabel 2.9. Tabel Tahanan Jenis Tanah .....	42
Tabel 2.10. Jumlah Sambaran Petir (CG+ dan CG-) di kantor MSC Medan ..	50
Tabel 3.1. Data Existing <i>Tower</i> BTS dan spesifikasi <i>Air Terminal</i> .....	57
Tabel 3.2. Data Existing Kabel Penyalur <i>Tower</i> BTS .....	58
Tabel 3.3. Data Existing Elektroda Batang dan Plat Sistem Pentanahan <i>Tower</i> BTS .....	58
Tabel 4.1. Data Sambaran Petir Tahun 2020 .....	64
Tabel 4.2. Spesifikasi Material Terminasi Udara Aluminium (Standar IEC 62305) .....	72
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Volume Pelelehan logam pada Terminasi Udara .....	73

Tabel 4.4. Spesifikasi Konduktor Penyalur .....	73
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Volume Pelelehan Logam pada Kabel	
Konduktor .....	74
Tabel 4.6. Spesifikasi Elektroda Plat .....	75
Tabel 4.7. Spesifikasi Elektroda Batang .....	77
Tabel 4.8. Perhitungan Nilai Tahanan Elektroda batang <i>Grounding</i> .....	79
Tabel 4.9. Data Pengukuran Resistansi Sistem Proteksi Eksternal <i>Air</i>	
<i>Terminal</i> .....	82
Tabel 4.10. Data Pengukuran Resistansi Sistem Pentanahan pada <i>Stick</i>	
<i>Rod</i> .....	82
Tabel 4.11. Arus Dsitribusi pada Saluran Daya .....	84
Tabel 4.12. Arus Distribusi pada Saluran Pentanahan .....	86
Tabel 4.13. Karakteristik <i>Arrester</i> ZnO .....	88
Tabel 4.14. Spesifikasi <i>Arrester</i> pada Perangkat BTS .....	90
Tabel 4.15. Nilai Arus dan Tegangan pada Pemodelan Saluran Radio	
Sebelum dan Sesudah Pemasangan <i>Arretser</i> .....	90

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. LATAR BELAKANG**

Telekomunikasi merupakan sesuatu yang menjadi kebutuhan penting bagi kehidupan masyarakat modern saat ini. Telekomunikasi tidak hanya dibutuhkan oleh masyarakat yang tinggal dipertanian saja. Tetapi juga dibutuhkan oleh masyarakat yang tinggal di daerah pedesaan. Tahun 2021 merupakan era transformasi digital, dimana bidang telekomunikasi menyediakan jaringan telekomunikasi digital yang canggih, dimana fitur-fitur menarik yang sedang trend di kalangan para orang tua dan anak muda dapat diakses dengan mudah. Dikarenakan adanya pandemi Covid 19 yang bermula di tahun 2020, telekomunikasi menjadi media yang paling dan sangat dibutuhkan semua kalangan terutama peserta akademisi. Pembatasan Skala Berskala Besar (PSBB) yang diberlakukan di tengah-tengah masyarakat menjadikan perusahaan penyedia jasa telekomunikasi berlomba-lomba mengembangkan jaringan telekomunikasi. Hal ini diupayakan supaya seluruh lapisan masyarakat yang ada di pedesaan dan dipertanian dapat mengakses jaringan telekomunikasi dengan lancar. Peningkatan jaringan telekomunikasi diiringi dengan penambahan jumlah BTS (*Base Transceiver Station*) di berbagai daerah.

Tower BTS (*Base Tranceiver Station*) dibangun dengan ketinggian minimal 25-100 Meter. BTS itu sendiri merupakan penghubung perangkat komunikasi dari

satu jaringan ke jaringan yang lain. Perangkat-perangkat terdiri dari berbagai perangkat telekomunikasi seperti Antenna Radio Frekuensi, *Antenna Microwave*, RBS (*Radio Base Station*), *Transmission Equipment*, *Rectifier*, dan lain-lain. Sedangkan tower BTS terdiri dari tiang besi yang dibuat tinggi menjulang yang bangun diatas tanah secara langsung (*Greenfield*) ataupun diatas sebuah gedung (*Roof Top*). *Tower* BTS juga dikenal dengan menara BTS. *Tower* BTS dilengkapi dengan sistem proteksi eksternal dan internal grounding yang didesign dan dipasang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia. Sistem proteksi merupakan suatu kesatuan sistem perlindungan pada *tower* dan perangkat telekomunikasi dari sambaran petir dan tegangan berlebih dari arus PLN.

Petir merupakan suatu proses peristiwa di atmosfer berupa pelepasan muatan listrik dan pelepasan elektrostatik dari awan yang bermuatan terhadap bumi. Sambaran petir terjadi secara random yang tidak bisa dipastikan dan dikendalikan kejadiannya dan sambaran petir juga mengakibatkan kerusakan pada obyek yang disambar. Jenis petir yang sering menyambar secara vertikal adalah cloud to ground. Cloud to ground itu sendiri berasal dari awan *Cumulonimbus* yang melepaskan muatan elektrostatik dari awan terhadap bumi. Petir Cloud to Ground dibedakan atas 2 jenis, yaitu Cloud to Ground positif (CG+) yang ditandai dengan munculnya suara guruh yang kuat. Sedangkan petir Cloud to Ground negatif (CG-) tidak diikuti dengan suara guruh. Sambaran petir Cloud to Ground positif (CG+) paling sering menyambar tower BTS karena struktur tower yang tinggi dan terbuat dari bahan logam. Walaupun pada aktual kondisi sebenarnya setiap perangkat dan menara selalu dilengkapi dengan sistem proteksi petir, tetapi

kerusakan karena sambaran petir masih saja sering terjadi. Petir juga dapat mengakibatkan kenaikan tegangan tanah pada daerah sekitar sambaran petir.

Sistem proteksi petir merupakan sistem pengamanan perangkat telekomunikasi yang melindungi peralatan dari sambaran petir. Sistem proteksi petir terdiri dari sistem proteksi eksternal dan sistem proteksi internal. Sistem pentanahan sering digunakan di bidang kelistrikan pada umumnya digunakan tujuan untuk mengamankan peralatan listrik dan perangkat elektronik maupun manusia yang berada disekitar gangguan. Sistem proteksi petir yang sudah dipasang pada sisi tower sesuai dengan Standar Peraturan Umum Instalasi Penangkal petir (PUIPP) dan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004). Pada penelitian ini, menganalisa pengaruh parameter petir terhadap sistem proteksi tower telekomunikasi dengan menggunakan perangkat lunak/ software yang dikenal dengan ATP Draw.

ATP Draw merupakan program grafis dari *Elektromagnetic Transient Program* (EMTP) untuk Window. *Software Alternating Transient Program* (ATP Draw) digunakan untuk simulasi digital dari gelombang transient elektromagnetik. Pada software ini memodelkan sistem proteksi petir dalam bentuk rangkaian listrik, dan bentuk gelombang impuls petir terhadap rangkaian sistem proteksi petir. ATP draw dapat merancang sistem pemodelan rangkaian elektronik yang dapat memilih komponen dan fitur yang telah tersedia. Menurut Permata, Diah (2009)[37] ATP Draw dapat mensimulasikan bentuk gelombang impuls dari surja petir dengan arus yang bervariasi. Maka dari itu, penulis mengembangkan pemodelan dengan arus masukan sesuai dengan standar *IEC*



62305 dan *CIGRE* dengan arus minimal 80 kA sampai dengan 100 kA. Pemodelan menggunakan rangkaian sistem grounding dengan 6 *driven rod*.

## 1.2. IDENTIFIKASI MASALAH

Peningkatan jaringan telekomunikasi dan jumlah *tower* BTS dibarengi dengan bertambahnya instalasi perangkat pada *tower*. Berbagai perangkat dari sejumlah provider telekomunikasi memberikan kontribusi dalam penyediaan jaringan telekomunikasi dengan teknologi canggih. Akan tetapi perangkat telekomunikasi tersebut sering mengalami kerusakan saat sedang beroperasi. Kerusakan yang sering terjadi biasanya disebabkan karena *human error*, kegagalan perangkat dan yang paling sering terjadi adalah kerusakan karena sambaran petir. Kerusakan karena sambaran petir ditandai dengan kerusakan perangkat terjadi setelah terjadinya hujan deras yang disertai dengan petir yang kuat. Maka dari itu dengan adanya fakta tersebut, Penulis menganalisa sistem proteksi petir pada *tower* BTS dengan melakukan simulasi yang menggunakan *software ATP Draw*.

## 1.3. RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana analisis karakteristik parameter petir yang disimulasikan dengan menggunakan software ATP draw.?
2. Bagaimana analisis sistem proteksi eksternal dapat melindungi perangkat yang berada pada sisi *tower* telekomunikasi?

#### **1.4. BATASAN MASALAH**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis karakteristik parameter sambaran petir terhadap sistem proteksi eksternal pada *tower* BTS.
2. Analisis arus maksimum pada rangkaian sistem proteksi petir eksternal dengan menggunakan software ATP Draw dengan tipe ATP\_EMTP 5.7.
3. Analisis jangkauan jarak sistem proteksi eksternal yang terpasang pada sisi *tower* telekomunikasi.

#### **1.5. TUJUAN PENELITIAN**

Adapun tujuan penelitian dari tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis zona proteksi pada *tower* BTS dari sambaran petir.
2. Mensimulasikan sistem proteksi eksternal pada *tower* BTS.
3. Membandingkan nilai arus yang terdistribusi pada berbagai model pentanahan dan model saluran peralatan telekomunikasi ketika diberikan gelombang petir dengan waktu muka yang berbeda sehingga dapat disimpulkan jenis pentanahan yang paling sesuai untuk *tower* BTS.

#### **1.6. MANFAAT PENELITIAN**

Adapun manfaat teoritis dan praktis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat penelitian bagi Penulis adalah :

Memberikan manfaat untuk mengimplementasikan teori Sistem Proteksi Eksternal Petir pada *tower* BTS dalam mengatasi Sambaran Petir Langsung.

2. Manfaat penelitian bagi Universitas adalah :

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi untuk menambah ilmu pengetahuan dan menjadi bahan referensi khususnya bagi Mahasiswa Pasca Sarjana Teknik Elektro, serta menjadi inventaris dan bahan bacaan di perpustakaan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3. Manfaat penelitian bagi Perusahaan adalah :

Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan sebagai suatu acuan untuk mengetahui masalah terkait dengan sambaran petir langsung terhadap tower telekomunikasi, dan dapat memberikan solusi dalam memproteksi perangkat dengan memasang instalasi sistem proteksi eksternal yang baik.

### **1.7. SPESIFIKASI SISTEM/PRODUK**

Adapun spesifikasi sistem/produk yang diharapkan sesuai dengan standarisasi yang telah ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional Indonesia, dimana sistem proteksi petir yang sesuai untuk daerah yang tropis. Sistem proteksi eksternal diharapkan dapat melindungi perangkat di sisi *tower* BTS dari sambaran petir. Pemodelan yang menggunakan *software ATP Draw* diharapkan dapat memberikan gambaran tentang parameter petir dan dapat menganalisis zona proteksi pada *tower* BTS dari sambaran petir.

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1. Fenomena Petir**

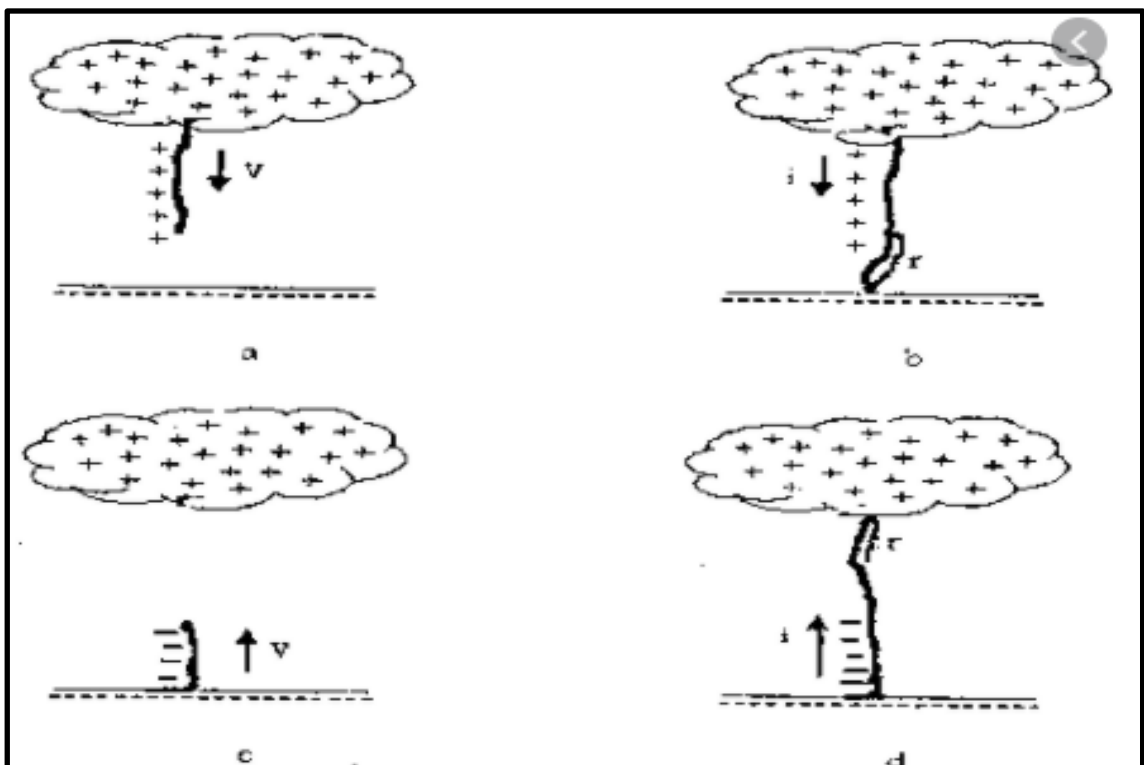
Petir merupakan proses alami yang sering terjadi saat musim hujan tiba. Dimana, ditandai dengan adanya kilatan cahaya yang biasa disebut halilintar dan disusul dengan adanya suara yang menggelegar yang terdengar setelahnya dinamakan Guntur atau guruh. Adanya perbedaan atau jeda waktu yang terjadi antara kilatan cahaya dan suara petir karena adanya perbedaan waktu antara kecepatan cahaya dan kecepatan suara dalam hal ini. Petir juga dinyatakan oleh para ahli sebagai sebuah simbol dari listrik alam. Fenomena alam yang bisa dianalogikan dengan sebuah kondensator raksasa dengan lempeng pertama berupa awan yang memuat lempeng positif dan negatif, sementara lempeng kedua bumi dianggap sebagai lempeng netral. Secara umum, kapasitor merupakan suatu komponen pasif pada rangkaian listrik yang dapat menyimpan energi pada suatu waktu tertentu.

#### **2.2. Tahapan Sambaran Petir ke Tanah**

Tahapan proses sambaran petir ke tanah, terjadi dimulai dengan adanya perpindahan muatan negatif (elektron) menuju ke muatan positif (proton). Sehingga perpindahan tersebut menyebabkan terjadinya loncatan bunga api. Menurut Zoro [10], pada saat perbedaan tegangan listrik di awan telah melebihi nilai tembus udara yang terionisasi maka akan terjadi pelimpahan muatan yang diionisasi oleh pelepasan awal ringan. Pelepasan awal ini membentuk saluran

antara awan dan bumi yang kemudian menjadi saluran pelepasan muatan yang utama. Pembentukan saluran ini diiringi oleh titik cahaya dan dinamakan aliran penuntun. Sambaran petir dimulai dari suatu Lidah Petir (*Stepped Leader*) yang bergerak turun (*Down Leader*). Adapun arah dari *Stepped Leader* berubah-ubah, dimana arahnya mencari udara yang memiliki kekuatan dielektrik paling rendah.

Proses tahapan sambaran petir ketanah dapat dijelaskan pada Gambar 2.1.



(Sumber : Zoro, 2018)

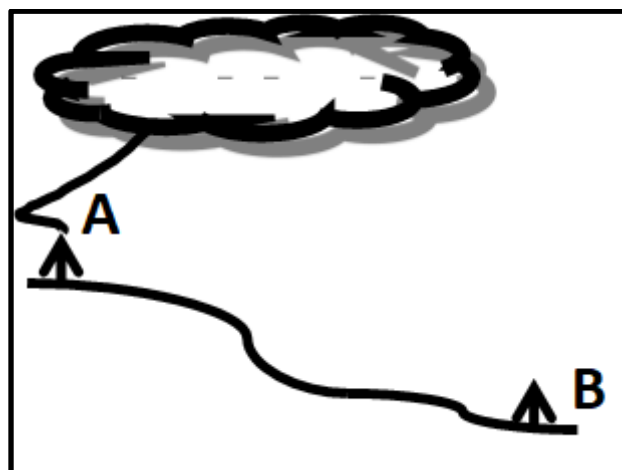
Gambar 2.1. Proses sambaran petir

Sambaran petir memiliki kecenderungan menyambar daerah atau tempat-tempat yang tinggi di permukaan bumi. Ini dikarenakan adanya kuat medan listrik di ujung ataupun puncak bangunan lebih rapat dari muatan dan cenderung berada pada puncak ataupun ujung bagian yang runcing. Selain itu ada beberapa daerah dataran tinggi memiliki jarak yang cukup dekat dengan leader sambaran petir,

sehingga menghasilkan kuat medan listrik yang lebih tinggi pula. Adapun panjang dari *Stepped Leader* Sekitar 50 m (dengan rentang 3-200 m), dan dalam interval waktu  $\pm 50 \mu\text{s}$  (30-125)  $\mu\text{s}$ .

### 2.3. Mekanisme Sambaran Petir

Petir cenderung menyambar tempat-tempat yang berada dipermukaan tinggi pada bumi. Hal ini dikarenakan kuat medan pada puncak atau ujung bangunan lebih rapat dan sifat dari muatan di puncak cenderung mengumpul di bagian yang runcing. Selain itu, di daerah yang tinggi memiliki jarak yang dekat dibandingkan dengan obyek yang berada pada daerah yang memiliki permukaan datar, maka kuat medan listrik yang dihasilkan akan lebih tinggi pula seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Sambaran petir terhadap benda pada permukaan bumi

Gambar 2.2 obyek A dan B memiliki konduktivitas jenis, ukuran dan tinggi yang sama, tetapi yang tersambar oleh petir adalah obyek A. Hal ini disebabkan karena obyek A berada pada lokasi yang lebih dekat dengan sumber petir, sehingga nilai medan listrik lebih besar pula. Jika 2 obyek berada pada permukaan yang rata,

maka obyek yang lebih cenderung terkena sambaran petir adalah obyek yang berada pada jarak yang lebih dekat dari sumber petir. Hal ini tidak menutup kemungkinan bahwa sebuah bangunan tinggi tidak terkena sambaran petir pada puncaknya, tetapi yang terkena sambaran petir adalah pada bagian dasar atau tengah bangunan. Ini dikarenakan adanya lompatan dari stepped leader. Menurut Viemeister, 1972, Lidah panah dan sambaran balik tidak selalu terjadi pada saluran dari awan ke tanah yang sama karena sudah terbakar oleh lidah petir yang pertama. Ada 2 sasaran pokok pencegahan terkait adanya sambaran petir, yaitu :

1. Sambaran petir yang terjadi langsung maupun tidak langsung yang tidak mengakibatkan bahaya kebakaran, kerusakan bahkan kematian.
2. Sambaran petir tidak menyebabkan terjadinya gangguan pengoperasian peralatan listrik maupun elektronik.

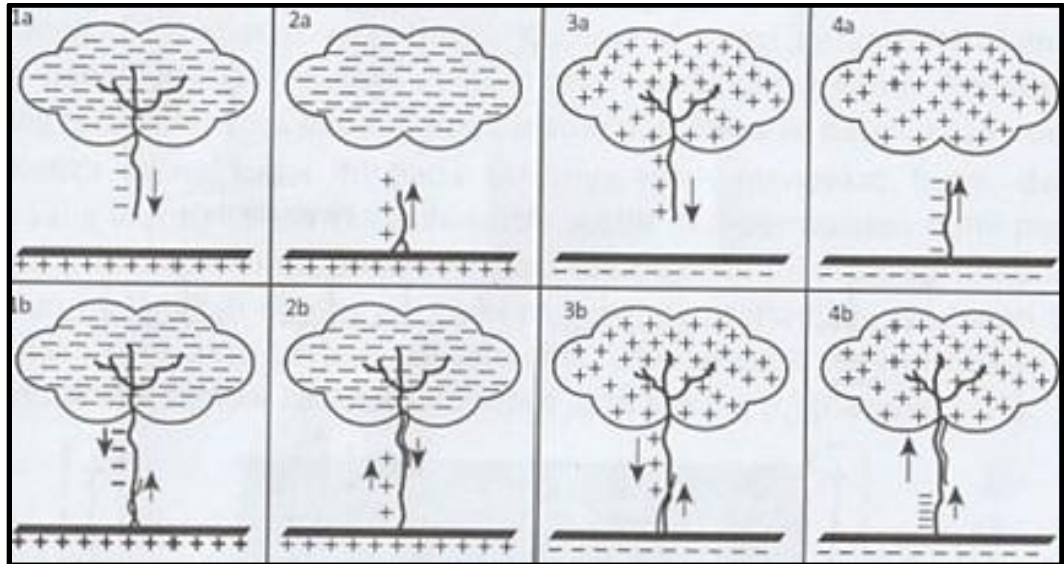
#### **2.4. Karakteristik Surja Arus Petir**

Menurut Zoro [10], karakteristik dibagi atas beberapa bagian, yaitu : pengaruh polaritas awan, bentuk arus petir dan parameter petir, fakta mengenai petir yang akan dijelaskan pada bagian berikut.

##### **2.4.1. Pengaruh Polaritas Awan**

Bagian dasar awan kebanyakan bermuatan negative, tetapi dapat juga bermuatan negatif. Polaritas ini berpengaruh pada besar arus di samping arahnya.

Tipe arus sambaran yang timbul dapat dilihat pada Gambar 2.3 .



(Sumber : Zoro, 2018)

Gambar 2.3. Tipe-tipe arus sambaran

Keterangan :

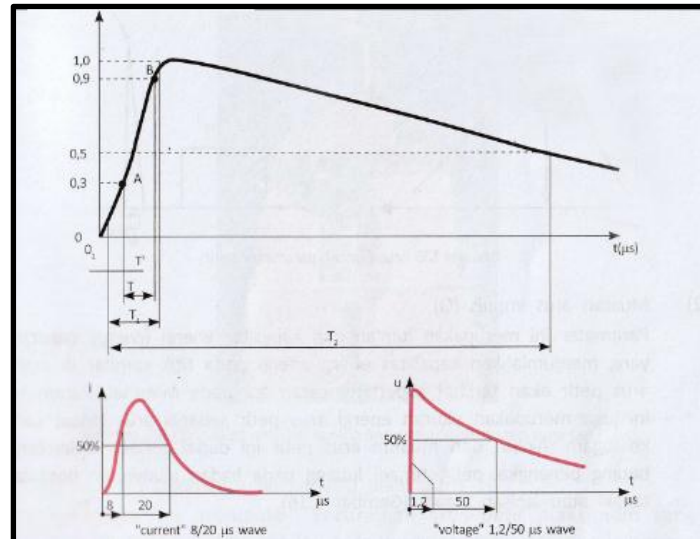
1. Negatif *Cloud to Ground* (Petir awan ke tanah negatif) (a) sambaran pertama petir (b) sambaran balik petir.
2. Positif *Ground to Cloud* (petir tanah kea wan positif) (a) sambaran pertama petir (b) sambaran balik petir.
3. Positif *Cloud to Ground* (petir awan ke tanah positif) (a) sambaran pertama petir (b) sambaran balik petir.
4. Negatif *Ground to Cloud* (petir tanah kea wan negatif) (a) sambaran pertama petir (b) sambara balik petir.

Di bawah awan positif arus sambaran perintis berkisar antara 1000-3000 A dibawah awan negatif berkisa 50-300A. Namun sambaran balik berkisar 8-150 kA di bawah awan negative dan sampai 300 kA dibawah awan positif.



### 2.4.2. Bentuk Arus Petir

Pada Gambar 2.4 adalah bentuk gelombang arus surja petir yang sesuai dengan standard IEC 62305, 2006 :



(Sumber : Zoro, 2018)

Gambar 2.4. Gelombang surja arus dan tegangan (Standar IEC 62305, 2006)

### 2.4.3. Parameter Petir

Parameter petir merupakan penggambaran dan karakteristik dari petir. Parameter petir berguna untuk mempelajari efek kerusakan dan kemungkinan dari pemanfaatan petir. Adapun beberapa yang parameter petir, yaitu :

#### 1. Arus Puncak ( $I_{max}$ )

Parameter arus puncak petir maksimum (*Max Lightning Peak Current*) yang memiliki bentuk arus impuls dijelaskan pada Gambar 2.5. Arus puncak petir dapat menyebabkan penurunan tegangan/ *voltage drop* tegangan pada tahanan objek yang disambaran misalnya pada tahanan pentahanan (*Grounding Resistance*) atau impedansi struktur pada persamaan 2.1[10]

$$I_{max} = V / R_{imp} \quad (2.1)$$

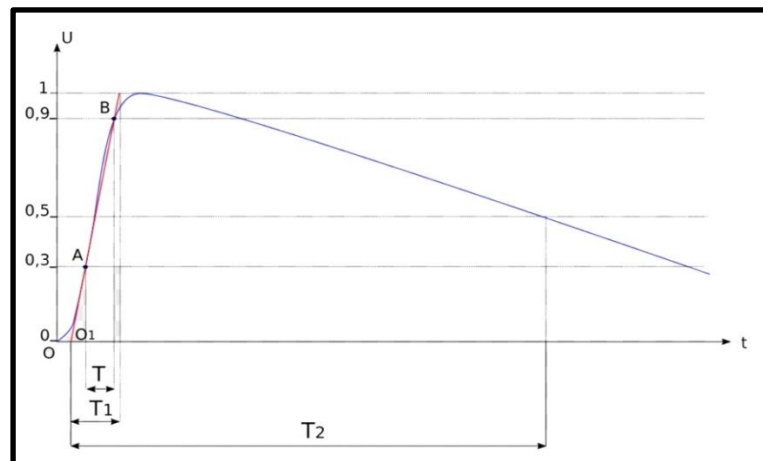
Dimana :

$I_{max}$  = Arus puncak (kA)

$V$  = Tegangan objek sambaran (kV)

$R_{imp}$  = Tahanan pentanahan ( $\Omega$ )

bentuk gelombang arus petir dibedakan atas dua besaran yaitu, waktu muka ( $T_1$ ) yang disebut dengan muka gelombang (*front duration*) dan kecuraman arus, serata dengan waktu ekor ( $T_2$ )



(Sumber : Zoro, 2018)

Gambar 2.5. Arus petir (Standard SNI IEC 62305)

Keterangan :

$O_1$  Awal semu

$I$  Arus puncak

$T$  Waktu puncak

$T_1$  Waktu muka

$T_2$  Waktu ekor

## 2. Kecuraman arus petir ( $di/dt$ )

Kecuraman arus petir merupakan salah satu parameter yang sangat penting karena menyatakan kecepatan adanya kenaikan arus petir setiap satuan waktu ( $di/dt$ ). Semakin besar nilai arus dalam satuan waktu, maka semakin curam bentuk gelombang arus dan semakin pendek pula gelombang arus front duration. Untuk objek yang memiliki induktif seperti kabel dll, tegangan lebih petir maksimum sebanding dengan laju maksimum perubahan arus, atau dapat dinyatakan dalam persamaan 2.2[10]

$$\frac{di}{dt} = V_{ind} / L \quad (2.2)$$

Keterangan :

$V_{ind}$  = Tegangan induktansi (kV)

$L$  = Induktansi metal/kabel (henry)

$di/dt$  = Laju kenaikan arus terhadap waktu/kecuraman arus petir (s)

Menurut Zoro[10], maksimum  $di/dt$  terjadi pada sambaran balik dari gelombang petir. Sambaran balik positif lebih kecil daripada sambaran balik negative.

## 3. Muatan arus petir (Q) atau transfer muatan

Pemanasan dan lumer/ bolong pada suatu objek metal yang terkena petir sebanding dengan harga muatan yang ditransfer, dan juga tergantung pada arus dimana muatan ini ditransfer. Muatan arus petir dinyatakan dengan persamaan 2.3[10]

$$Q = \int Idt \quad (C) \quad (2.3)$$

Keterangan :

$Q$  = Muatan total/ Muatan petir (C)

$I$  = Arus petir (kA)

$dt$  = Waktu ( $\mu$ s)

#### 4. Impuls Force (E) atau energi spesifik

Impuls Force merupakan kekuatan impuls yang menyebabkan pemanasan dan gaya elektrodinamis pada konduktor atau struktur dimana arus petir mengalir. Parameter ini merupakan dasar efek mekanik dan menyebabkan panas impuls listrik pada resistor. Impuls Force ( E ) dinyatakan dalam persamaan 2.4[10]

$$E = \int I^2 dt \quad (\text{MJ}/\Omega) \quad (2.4)$$

$E$  = Energi spesifik (MJ/ $\Omega$ )

$I$  = Arus petir (kA)

$dt$  = Waktu ( $\mu$ s)

Menurut Standard Nasional Indonesia SNI03-7015-2004 yang mengacu pada standard IEC 62305, ada beberapa klasifikasi dari karakteristik parameter petir dengan tingkat proteksi yang dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Parameter Petir Menurut Level Proteksi Petir Berdasarkan Standar IEC 62305/2006[26]

Parameter	Level/ Kelas Proteksi Petir		
	I	II	III/ IV
<b>Arus Impuls : I (kA)</b>	200	150	100
<b>Energi Spesifik : W/R (MJ/<math>\Omega</math>)</b>	10	5.6	2.5
<b>Muatan Impuls : Q ( C )</b>	100	75	50
<b>Muatan Waktu Impuls : W long (As)</b>	200	150	10
<b>Efektifitas</b>	98%	95%	80-90%
<b>Periode Petir</b>	$T_1 = 1\sim 10 \mu$ s		
	$T_2 = 10\sim 100 \mu$ s		

(Sumber : Standar IEC 62305, 2006)

Standar bentuk gelombang impuls petir yang digunakan diberbagai negara berbeda-beda. Tabel 2.2 adalah standar tegangan impuls yang digunakan di berbagai negara yang telah ditetapkan oleh IEC 62305.

Tabel 2.2. Standar Gelombang Petir

No	Standar	$T_f \times T_t$
1	Jepang	1 x 40 $\mu$ s
2	Jerman	1 x 50 $\mu$ s
3	Amerika	1.5 x 40 $\mu$ s
4	IEC	1.2 x 50 $\mu$ s
5	CIGRE	3.3 x 77.5 $\mu$ s

(Sumber : IEC 62305)

## 2.5. Kerusakan Akibat Adanya Sambaran Petir

Ada beberapa kerusakan yang akan timbul akibat terjadinya sambaran petir, yang dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan ataupun peralatan/perangkat elektronik yang ada disekitar menara. Kerusakan yang timbul bisa berupa kebakaran gedung, keretakan pada dinding bangunan, kebakaran pada peralatan/perangkat elektronik, kontrol, telekomunikasi dan lainnya.

### 2.5.1. Kerusakan Terhadap Bangunan

Kerusakan terhadap bangunan sering terjadi dan menyebabkan kerusakan akibat terkena sambaran arus puncak petir dan kecuraman petir yang memiliki arus hingga 200 kA. Kerusakan dapat berupa kerusakan thermis, yaitu adanya bagian yang terbakar saat tersambar petir, atau bisa juga berupa kerusakan mekanis pada bangunan seperti bangunan runtuh, bangunan retak, dan lain-lain. Bagian bangunan yang paling parah terkena sambaran petir

adalah yang bersifat kering. Berikut ini adalah beberapa kerusakan terhadap bangunan, akibat adanya sambaran petir :

#### 1. Beban Thermal

Beban thermal yaitu terjadinya panas pada bagian-bagian yang dialiri arus petir. Pada Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP, 1983) ditetapkan pemanasan yang timbul yang sangat bergantung pada besarnya kuadrat impuls, yang dijelaskan pada persamaan 2.5

$$W = R \int I^2 dt \quad (2.5)$$

Keterangan :

W = Energi petir (J)

R = Tahanan sistem yang dilewati arus petir ( $\Omega$ )

I = Arus petir (Ampere)

Karena adanya pemanasan lebih pada penghantar, diindikasikan terjadinya kenaikan temperatur yang dinyatakan pada persamaan 2.6

$$\Delta\delta = \frac{1}{\alpha} \left[ \exp \frac{\int I^2 dt \cdot \alpha \rho}{q^2 \cdot \gamma \cdot Cw} - 1 \right] \quad (2.6)$$

Keterangan :

$\Delta\delta$  = Kenaikan temperatur (K)

$\alpha$  = Koefisien temperatur pada tahanan (1/K)

$\rho$  = Tahanan ohmic spesifik pada temperature sekitar ( $\Omega m$ )

q = Luas penampang penghantar penyalur ( $m^2$ )

$\gamma$  = Rapat massa ( $kg/m^3$ )

Cw = Kapasitas panas spesifik (J/kg.K)

## 2. Beban Korosi

Beban korosi adalah proses elektrokimia yang terjadi karena adanya proses pengosongan muatan awan. Proses elektrokimia terjadi berupa pelelehan logam pada objek sambaran. Adapun tingkat pelelehan pada benda logam dapat dinyatakan pada persamaan 2.7

$$v = \frac{W}{\gamma (C_w \cdot \vartheta + C_s)} \quad (2.7)$$

Keterangan :

$v$  = Volume pelelehan logam ( $m^3$ )

$W$  = Energi petir (J)

$\gamma$  = Rapat massa ( $kg/m^3$ )

$C_w$  = Kapasitas panas spesifik (J/kg. K)

$\vartheta$  = Temperatur leleh ( $^{\circ}C$ )

$C_s$  = Panas leleh spesifik (J/Kg)

Pada sistem proteksi petir (SPP) yang telah ditetapkan pada SNI IEC 62305-1 2006, karakteristik setiap bahan proteksi berbeda-beda seperti yang dijelaskan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Karakteristik Tipikal Komponen Bahan pada Sistem Proteksi Petir

Kuantitas	Bahan			
	Alumunium	Baja Lunak	Tembaga	Baja Anti Karat
$\rho_0$ ( $\Omega\text{m}$ )	$29 \cdot 10^{-9}$	$120 \cdot 10^{-9}$	$17,8 \cdot 10^{-9}$	$20,7 \cdot 10^{-9}$
A (1/K)	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$3,92 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$
$\Gamma$ ( $\text{kg/m}^3$ )	2700	7700	8920	8000
$\Theta_s$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	658	1530	1080	1500
$C_s$ (J/Kg)	$397 \cdot 10^3$	$272 \cdot 10^3$	$209 \cdot 10^3$	-
$C_w$ (J/Kg)	908	469	385	500

(Sumber : IEC 62305- 2006)

### 2.5.2. Kerusakan Terhadap Peralatan Elektronik

Kerusakan terhadap peralatan elektronik sering terjadi akibat terkena sambaran petir. Sambaran petir dibedakan berdasarkan jenis sambarannya dibedakan atas sambaran langsung dan sambaran tidak langsung.

#### 2.5.2.1. Sambaran langsung

Sambaran langsung (Direct Stricking) sering mengakibatkan kerusakan pada bangunan dan peralatan elektronik secara bersamaan. Kerusakan dapat menyebabkan terjadinya kebakaran dan kerusakan pada bangunan serta perangkat elektronik.

#### 2.5.2.2. Sambaran Tidak Langsung

Pada saat terjadi sambaran petir (Undirect Stricking), arus petir akan diteruskan masuk ke dalam bumi dan akan terjadi yang dinamakan GPR (*Ground Potential Rising*) atau kenaikan tegangan tanah. Luasnya nilai GPR hingga mencapai beberapa kilometer dari titik sambaran, semakin dekat dengan titik sambaran GPR maka akan semakin besar



perangkat yang ada di dalam shelter mengalami kerusakan. Hal ini dikarenakan adanya sistem proteksi petir (*arrester* dan *grounding system* dari perangkat yang ada di menara tersebut). Sambaran tidak langsung dapat menimbulkan efek yang dapat merusak dikarenakan gelombang surja petir yang terjadi dapat menyebabkan induksi atau merambat ke dalam sistem tenaga listrik. Beberapa faktor penyebab terjadinya induksi dalam sistem tenaga yaitu : *Coupling Resistive*, *Coupling Inductive*, *Coupling Capacitive*.

### **1. *Coupling Resistive***

*Coupling* ini terjadi dikarenakan pada saat terjadi sambaran petir, arus petir yang mengalir ke dalam tanah mengakibatkan kenaikan tegangan yang sangat besar dipermukaan yang terkena sambaran. Hal ini menyebabkan arus balik melalui sistem tenaga listrik dan menimbulkan kerusakan sepanjang jalur yang dilaluinya.

### **2. *Coupling Induktive***

*Coupling* ini terjadi pada saat sambaran langsung terhadap sistem proteksi petir . Adanya aliran arus dari terminasi udara melalui kabel penyalur menuju elektroda pentanahan akan mengakibatkan medan elektromagnetik yang besar. Besarnya nilai induksi pada kabel diperoleh pada persamaan 2.8[2]

$$V_{\text{ind}} = L \frac{di}{dt} \quad (2.8)$$

Dimana :

$V_{\text{ind}}$  = Tegangan induksi (Volt)

$L$  = Induktansi dari Penghantar (Henry)

$di/dt$  = Perubahan arus terhadap waktu (s)

Adapun nilai induktansi penghantar dinyatakan pada persamaan 2.9 [2]

$$L = 2l \times \log\left(\frac{2l}{a}\right) \cdot 10^{-7} \text{ (H)} \quad (2.9)$$

Dimana :

$l$  = Panjang penghantar (m)

$a$  = jari-jari penghantar (m)

Nilai dari tegangan induksi yang cukup besar, dapat menimbulkan kerusakan yang cukup berarti pada peralatan, terutama pada peralatan telekomunikasi.

### 3. *Coupling Capacitive*

*Coupling* ini terjadi akibat adanya sambaran petir pada saluran tegangan tinggi secara langsung, dimana walaupun saluran telah dilindungi alat proteksi tetap ada arus yang mengalir menuju saluran tegangan menengah dan tegangan rendah yang berdasarkan sifat alaminya dimana pada muka gelombang petir akan memiliki frekuensi tinggi maka akan terjadi *coupling* kapasitif pada transformator yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan yang terhubung kepadanya karena peningkatan tegangan yang tinggi.

### 2.5.3. Zona yang akan diproteksi

Kerusakan karena adanya sambaran petir langsung maupun tidak langsung, mengharuskan setiap sistem memiliki sistem proteksi terhadap petir baik itu sistem proteksi eksternal maupun sistem proteksi internal. Tujuan pemasangan sistem proteksi adalah untuk memberikan area/zona yang aman dari sambaran petir langsung maupun tidak langsung.

Menurut P, Hasse (2008), sistem proteksi petir dibedakan atas dua proteksi, yaitu proteksi eksternal dan sistem proteksi internal. Sistem proteksi eksternal terdiri dari terminasi udara, kabel penyalur (*down conductor*), dan pentanahan. Sedangkan proteksi internal mencakup proteksi tambahan yang bertujuan untuk menghindari interferensi gelombang elektromagnetik karena arus petir. Pada standar penentuan proteksi petir ada sebuah metode yang bertujuan untuk menilai risiko kerusakan yang diakibatkan oleh petir dan tindakan yang harus dilakukan oleh sistem proteksi petir.

Adapun menentukan tingkat proteksi adalah mengurangi resiko kerusakan yang terjadi akibat adanya sambaran langsung. Kerapatan sambaran petir merupakan salah satu parameter petir yang menyatakan frekuensi terjadinya petir atau sambaran petir ke bumi dalam rentang satu tahun di suatu wilayah, dinyatakan dalam sambaran  $\text{km}^2$  per tahun. Jumlah sambaran kilat ini sebanding dengan jumlah hari guruh per tahun yang disebut *Iso Keraunic Level* (IKL).

Berdasarkan standard SNI-03-7014.1-2004, kerapatan sambaran petir dapat dinyatakan pada persamaan 2.1[3]

$$N_g = 0,04 T_d^{1,26} / km^2 / tahun \quad (2.10)$$

Dimana :

$N_g$  = Kerapatan sambaran petir ( $km^2 / tahun$ )

$T_d$  = jumlah hari guruh rata-rata pertahun di daerah tempat struktur yang akan diproteksi (tahun)

Dari persamaan diatas, maka diperoleh frekwensi sambaran petir langsung setempat ( $N_d$ ) dapat dinyatakan dengan persamaan 2.11[3]

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} / tahun \quad (2.11)$$

Dimana,  $A_e$  adalah area cakupan dari struktur ( $m^2$ ) yaitu daerah permukaan tanah yang dianggap sebagai struktur yang mempunya frekuensi sambaran langsung tahunan. Nilai  $A_e$  dapat ditentukan dengan persamaan 2.12[4]

$$A_e = ab + 6 h (a+b) + 9 \pi h^2 (m^2) \quad (2.12)$$

$a$  dan  $b$  , merupakan panjang lebar dari menara BTS

$h$  = tinggi tower BTS (m)

Daerah yang diproteksi adalah daerah yang berada pada sejauh  $3h$ , dimana  $h$  adalah tinggi bangunan yang diproteksi. Berdasarkan persamaan 2.12 dan persamaan 2.13, maka dapat ditentukan nilai  $N_d$  dan  $N_c$  sebagai berikut :

1. Jika Nilai  $N_d \leq N_g$  tidak perlu dipasang sistem proteksi petir
2. Jika Nilai  $N_d > N_g$  diperlukan sistem proteksi petir dengan ketentuan nilai efisiensi ditentukan pada persamaan 2.13[4]

$$E \geq 1 - \frac{N_d}{N_g} \quad (2.13)$$

Tingkat proteksi petir memiliki nilai efisiensi yang diklasifikasi seperti tabel

2.4.

Tabel 2.4. Efisiensi Sistem Proteksi Petir

Tingkat Proteksi	Efisiensi SPP (E)
I	0.98
II	0.95
III	0.90
IV	0.80

(Sumber : SNI-03-7015-2004 , Sistem proteksi petir terhadap bangunan gedung)

Menurut standard SNI-03-7014.1-2004, juga ditetapkan parameter arus puncak pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Parameter Arus Puncak Berdasarkan SNI-03-7014.1-2004

Lightning Protection Level (LPL)	Parameter Probabilitas Arus Puncak Sambaran Petir	Arus Puncak(kA)
I	0,99	200
II	0,97	150
III	0,91	100
IV	0,84	100

(Sumber : SNI-03-7015-2004 , Sistem proteksi petir terhadap bangunan gedung)

Standard SNI-03-7014.1-2004 telah menetapkan penempatan terminasi udara yang dibedakan atas ketinggian terminasi udara terhadap sudut proteksi yang dijelaskan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Penempatan Terminasi Udara Berdasarkan Level Tingkat Proteksi Petir

Tingkat Proteksi	Radius R (meter)	Ketinggian / H (meter)	$\alpha^{\circ}$			
I	20	20	25	-	-	-
II	30	30	35	25	-	-
III	45	45	45	35	25	-
IV	60	60	55	45	35	25

(Sumber : SNI-03-7015-2004 , Sistem proteksi petir terhadap bangunan gedung)

## 2.6. Base Transceiver Station

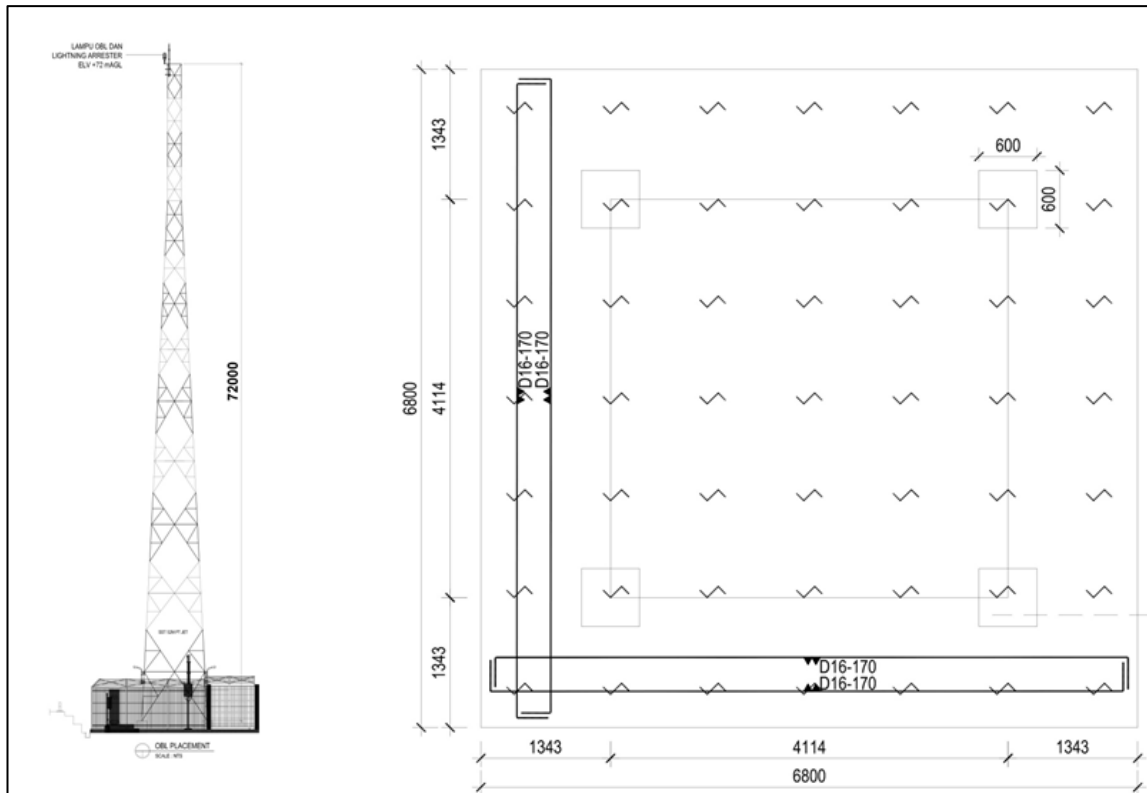
Teknologi komunikasi bergerak sangat erat kaitannya dengan BTS. Sebagaimana BTS itu sendiri merupakan singkatan dari *Base Transceiver Station* (BTS) atau yang dikenal dengan stasiun pemancar.

Adapun fungsi dari BTS adalah untuk mengirimkan atau menerima sinyal radio ke perangkat telekomunikasi seperti telepon genggam, *smartphone* atau telepon rumah. Sebuah BTS dari yang membentuk suatu komunikasi selular modern selalui dikontrol oleh satu *Base Station Controller* (BSC) yang terhubung koneksi sistem transmisi radio (*microwave*) ataupun kabel serat optic. Bangunan BTS itu sendiri terdiri dari 2 bagian utama, yaitu menara BTS dikenal dengan *tower* BTS. *Tower* BTS dan shelter yang memiliki beberapa komponen perangkat yang dapat memancarkan gelombang elektromagnetik yang bekerja pada frekuensi 900 s/d 2000 Mhz. Berikut ini adalah komponen-komponen yang membentuk satu cell BTS, yaitu :

### 2.6.1. Tower BTS

Adalah menara tinggi yang dipasang dengan rakitan besi-besi baja yang berfungsi sebagai tempat untuk penempatan antenna pemancar dan kabel-kabel feeder dan coaxial yang menghubungkan antara antenna pemancar dengan perangkat yang ada di dalam shelter. Antena-antena pemancar diinstall di ketinggian  $> 25$  meter, mengingat radiasi dari antenna pemancar sangat tinggi dan berbahaya bagi manusia. Proteksi *tower* dilengkapi dengan air terminal (terminasi udara) , down conductor (kabel penyalur) dan grounding rod

(pentanahan). merupakan suatu kesatuan sistem proteksi pada *tower* BTS yang berfungsi menangkap sambaran petir yang berupa arus dan mengalirkannya ke bumi. *Tower*/menara sentral dapat digambarkan pada 2.6.



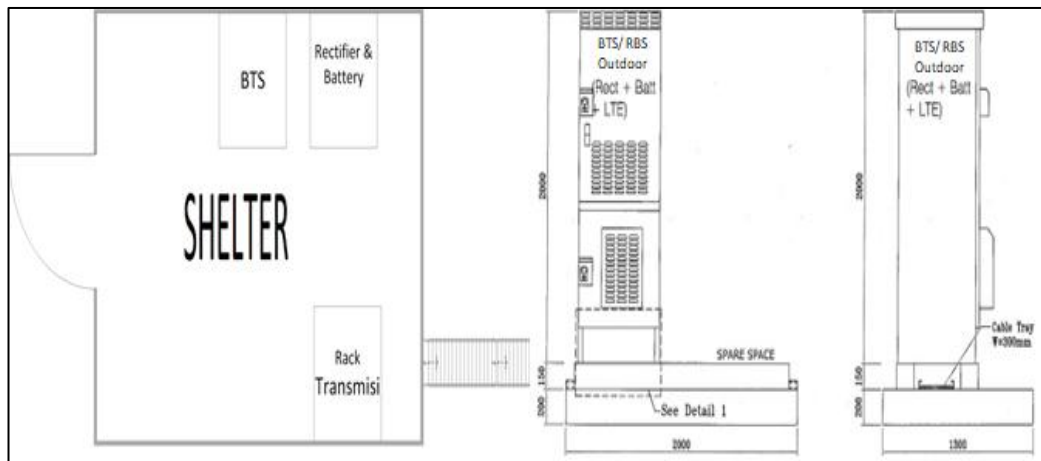
Gambar 2.6. *Tower*/menara sentral tampak depan dan Atas

(Sumber : Layout existing standar PT. SMARTFREN)

### 2.6.2. *Shelter/ BTS Outdoor*

*Shelter* berbentuk seperti kotak besar yang terbuat dari baja tertutup dan dilengkapi dengan sistem *air conditioning*. Adapun fungsi dari *Shelter* adalah tempat menyimpan perangkat-perangkat radio yang sensitif terhadap panas dan suhu ruangan berada kisaran  $<18^{\circ}\text{C}$ . *Shelter* yang terbuat dari baja memiliki sistem proteksi internal yang banyak. Dengan menghubungkan bagian *shelter*

dengan stick rod dan kemudian dihubungkan ke dalam tanah. Ada juga tipe shelter outdoor yang didesign untuk menghemat penggunaan daya listrik. Penggunaan perangkat juga didesign sedemikian rupa untuk diletakkan di luar ruangan dengan cover yang metal yang tahan terhadap cuaca panas, hujan dan petir. Shelter outdoor biasanya hanya berupa pondasi semen segi-empat yang dilengkapi sistem pentanahan berupa kabel penyalur dan grounding plat yang dihubungkan ke dalam bak kontrol. Pada gambar 2.7, menyajikan layout existing yang menggunakan shelter indoor dan pondasi BTS outdoor.



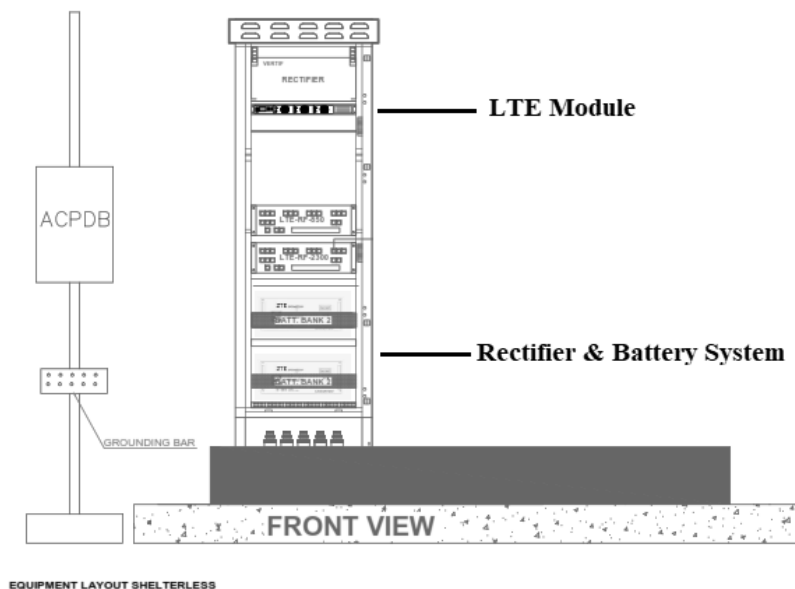
Gambar 2.7. Layout existing shelter dan BTS Outdoor

(Sumber : Layout existing standar PT. SMARTFREN)

### 2.6.3. Rectifier & Battery Sistem

*Rectifier* berfungsi untuk mengubah tegangan dari PLN 220/380 Volt AC menjadi tegangan DC untuk digunakan ke BTS. *Battery* di dalam sebuah rectifier berfungsi sebagai cadangan *power* jika terjadi pemadaman listrik. Adapun ketahanan *battery* berkisar 3-4 jam pemakaian. *BTS outdoor*, *rectifier* dan *battery* berada di dalam satu *cabinet* yang ditunjukkan pada gambar 2.8





Gambar 2.8. Rectifier dan BTS Outdoor Cabinet

(Sumber : Layout existing standar PT. SMARTFREN)

## 2.7. Sistem Proteksi Petir

Sistem proteksi petir merupakan serangkaian sistem perlindungan yang bertujuan sebagai upaya mengatasi ataupun melindungi dari bahaya terhadap sambaran petir, baik itu sambaran petir secara langsung ataupun sambaran petir tidak langsung. Adapun sistem proteksi petir dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

### 2.7.1. Sistem Proteksi Petir Internal

Sistem proteksi petir internal (*Arrester*) merupakan rangkaian sistem proteksi yang digunakan sebagai perlindungan dari bahaya sambaran petir secara langsung ataupun tidak langsung. Salah satu alat proteksi internal yaitu *Surge Arrester System*. Dalam kondisi normal arrester berfungsi sebagai isolator, dan apabila terjadi tegangan lebih surja petir arrester akan berfungsi

sebagai konduktordengan nilai tahanan yang memiliki nilai relatif rendah. Hal ini menyebabkan arus yang tinggi akan mengalir ke dalam tanah. Setelah surja petir berangsur hilang, maka arrester akan berfungsi menjadi isolasi kembali.

Secara umum, menurut Arismunandar Artono (1979) *arrester* yang ideal harus memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. *Arrester* tidak bekerja pada tegangan normal\
2. Apabila terjadi tegangan transint yang abnormal yang memiliki nilai diatas harga tegangan tembusnya, maka *break down* secara cepat.
3. Arus yang dilepaskan pada saat *break down*, harus memiliki nilai yang tidak boleh melebihi arus nominal dikarenakan dapat merusak
4. Gelombang impuls dengan tegangan puncak yang lebih tinggi dari tegangan yang ditentukan *arrester* harus mampu mengaktifkan *arrester* untuk dialirkan ke tanah.
5. *Arrester* harus memiliki kemampuan untuk meneruskan arus ke dalam tanah tanpa merusak arrester itu sendiri.
6. Pada tegangan operasi normal, arrester harus memiliki impedansi tinggi atau tidak menarik arus listrik.
7. Arus dengan frekuensi normal harus diputuskan dengan segera apabila tegangan impuls telah turun dibawah tegangan tembusnya.

Ketika terjadi sambaran petir yang memiliki tegangan yang sangat besar dan muncul pada sistem, hal ini menyebabkan terjadinya kerusakan pada peralatan listrik khususnya pada perangkat telekomunikasi. Maka dari itu, sistem isolasi pada perangkat telekomunikasi dirancang untuk bisa menahan

tegangan minimum yang dapat menahan sistem. Adapun nilai rating tegangan minimum disebut dengan BIL atau *Basic Insulation Level* / Tingkat Isolasi Dasar. Pada umumnya nilai faktor perlindungan adalah 20% - 30% dari nilai BIL peralatan yang dilindungi. Perangkat telekomunikasi nilai BIL bergantung pada arrester yang digunakan, pada umumnya nilai BIL adalah 80% dari nilai tegangan sistem yang digunakan. Menentukan faktor perlindungan dapat ditentukan dengan persamaan 2.14[23].

$$\text{Faktor Perlindungan (F}_p\text{)} = \frac{\text{BIL peralatan} - \text{TP Arrester}}{\text{BIL Peralatan}} \times 100\% \quad (2.14)$$

Menurut Suryawan (2003), Apabila sebuah BTS tersambar petir secara langsung, maka akan terjadi arus lebih yang mengalir pada sistem yang berasal dari arus surya petir, arus surya tersebut terdistribusi ke saluran-saluran yang terhubung dengan sistem pentanahan melalui *bounding* bar antara lain saluran daya dan saluran radio. Semakin besar arus surya petir yang diinjeksikan ke BTS semakin besar pula arus yang terdistribusi pada sistem di dalam BTS. Hal ini dikarenakan petir merupakan fenomena alam yang terjadi secara random dan tidak dapat dikendalikan kejadiannya dan dapat mengakibatkan kerusakan pada objek yang menjadi sasarannya.

Menurut Zoro[10], sambaran petir baik secara langsung maupun tidak langsung juga menimbulkan kerusakan pada peralatan-peralatan elektronik di dalam bangunan. Di Stasiun Penelitian Petir Institut Teknologi Bandung (SPP-ITB) Gunung Tangkuban sering terjadi kerusakan peralatan elektronik dan kerusakan arrester yang seharusnya melindungi peralatan elektronik tersebut. Kerusakan arrester tersebut kemungkinan besar disebabkan oleh

sambaran petir tidak langsung disekitar jaringan tegangan rendah SPP-ITB. Sambaran petir tidak langsung menginduksikan tegangan lebih pada jaringan tegangan rendah tersebut dan kemudian menghantarkan gelombang berjalan (konduksi) pada kedua ujung jaringan tegangan rendah yang salah satunya adalah SPP-ITB. Arrester sebagai alat proteksi pada tegangan rendah seperti pada menara BTS menggunakan *Surge Protective Devices* (SPDs). Arrester yang digunakan pada menara BTS terbagi atas 2, yaitu :

### 1. *Arrester* Antenna

Yang berfungsi meredam tegangan lebih saat terjadi sambaran dari surje petir. Tipe yang digunakan biasanya SPF3000 yang ditunjukkan pada gambar 2.9



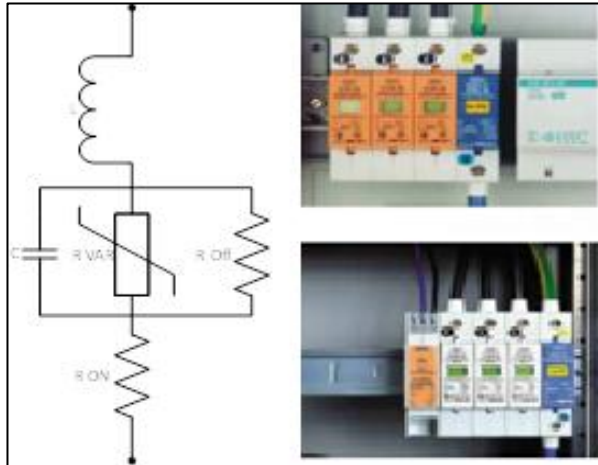
(Sumber : Foto Arrester actual terpasang pada Antenna RF PT. SMARTFREN)

Gambar 2.9. Arrester pada perangkat BTS

### 2. *Metal-Oxide Varistor* (MOV)

Arrester ini dirancang untuk membelokkan tegangan lebih yang memiliki komponen *Metal Oxide Varistor* (MOV), dimana prinsip kerja dari arrester tersebut akan mendeteksi kehadiran tegangan lebih dan bersifat saklar yang bertujuan membuang arus yang berlebih melalui varistor.

Dengan sistem ini perangkat *arrester* akan memberikan pengamanan terhadap peralatan elektronik yang disebabkan tegangan dari surja petir ataupun tegangan lebih dari *power AC*. Adapun model rangkaian dan bentuk fisik dari arrester MOV ditunjukkan pada gambar 2.10



(Sumber : Foto Arrester actual terpasang pada BTS PT. SMARTFREN)

Gambar 2.10. Arrester pada perangkat BTS

Pada rangkaian arrester MOV diatas, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Jika MOV dalam kondisi “*off*” atau tidak menghantar sampai terjadi adanya surja petir timbul pada saluran yang diproteksi
- MOV akan dalam kondisi “*on*” atau bekerja jika terjadi tegangan berlebih mengalir pada MOV tersebut.
- Dan apabila tegangan surja petir melebihi batas maksimum tegangan yang telah diizinkan, maka tegangan lebih tersebut akan dipotong (*Clamping*)

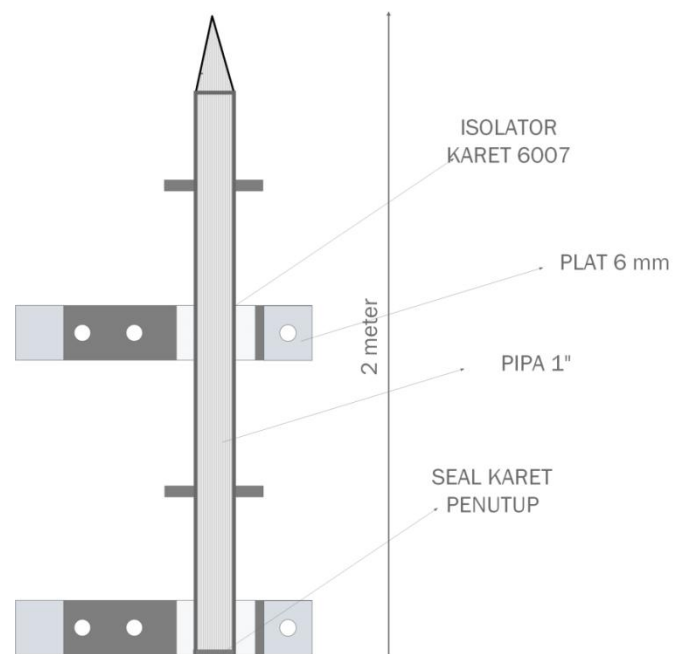
## 2.7.2. Sistem Proteksi Petir Eksternal

Merupakan serangkaian sistem perlindungan di bagian luar sebuah obyek dari sambaran petir secara langsung. Proteksi ini dikenal dengan sebagai penangkal petir. Menurut Benjamin Franklin ada 3 bagian utama dalam rangkaian sistem proteksi eksternal, yaitu :

### 2.7.2.1. Terminasi udara

Terminasi udara (*Air Terminal*) merupakan perangkat terminasi udara yang terbuat dari logam, (besi/ tembaga/ alumunium) yang memiliki bentuk runcing dan dipasang vertical pada puncak bangunan.

Adapun fungsi dari air terminal adalah untuk menangkap atau menerima sambaran langsung energi utama dari petir yang diperlihatkan seperti gambar 2.11.



Gambar 2.11. Detail air terminal menara telekomunikasi

Cakupan area perlindungan dari terminasi udara atau air terminal penangkal petir sangat ditentukan dari jarak sambar suatu sambaran petir yang panjangnya ditentukan oleh berapa tinggi kekuatan arus petir. Seiring dengan berbagai penelitian dan riset ditemukan teori dan metode yang digunakan sampai sekarang yaitu dengan metode bola bergulir (*rolling sphere method*) untuk menentukan penempatan terminasi udara atau air terminal serta untuk mengetahui area perlindungan dari sistem proteksi ini. Berdasarkan standard IEC 62305 metode *rolling sphere* (RSM), dibayangkan sebagai bola khayal dengan radius R yang bergulir pada suatu objek. Nilai radius bola bergulir dapat ditentukan dengan persamaan 2.15[9]

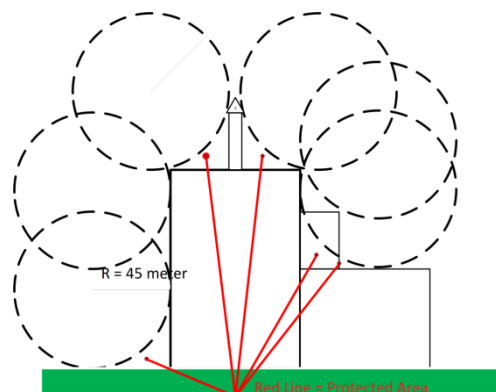
$$r_{sb} = I^{0,75} \text{ (m)} \quad (2.15)$$

Dimana,

$r_{sb}$  = Radius bola bergulir (m)

$I$  = Arus petir (kA)

Titik sentuk bola khayal dianggap sebagai lokasi yang akan tersambar petir sehingga seluruh titik harus dilindungi. Metode bola bergulir ditunjukkan pada gambar 2.12



Gambar 2.12. Metode bola bergulir dan *protected area* (Standard IEC 62305)

Ada beberapa parameter dalam metode bola bergulir, yaitu jarak sambar, distribusi arus puncak, sudut lindung dan daerah lindung.

### 1. Jarak Sambar

Jarak sambar atau *Striking distance* merupakan jarak antara ujung lidah petir yang bergerak ke bawah (*downward leader*) yang bertemu dengan petir penghubung yang bergerak ke atas (*connecting leader*) yang berada pada satu titik. Menurut Zoro[10], jarak sambar daerah tropis dapat ditentukan dengan persamaan Amstrong dan Whitehead pada persamaan 2.16[10]

$$r_s = 6,7 \cdot I^{0,8} \text{ (m)} \quad (2.16)$$

Sedangkan standar IEC 62305 menetapkan jarak sambar ditentukan dengan persamaan 2.17[10]

$$r_s = 10 \cdot I^{0,65} \text{ (m)} \quad (2.17)$$

Dimana :

$r_s$  = jarak sambar (m)

$I$  = estimasi arus puncak petir (kA)

### 2. Distribusi Arus Puncak

Nilai arus puncak petir yang telah ditetapkan dalam standard IEC62305, untuk digunakan menentukan jarak sambar atau sudut perlindungan yang ditentukan dari sistem level proteksi level yang diinginkan. Untuk keperluan engineering diperlukan arus puncak dengan statistic 50%. Sebagai contoh arus puncak 40 kA dengan statistic 50% maka sistem proteksi melindungi 50%, dan sisanya (<40 kA) tidak akan terproteksi.



### 3. Radius Proteksi

Radius proteksi digunakan untuk menentukan objek yang berada pada sekitar penangkal petir apakah terlindungi atau tidak. Radius proteksi bola bergulir dapat dihitung dengan persamaan 2.18 dan 2.19[4]

$$R_1 = \sqrt{h_1(2d^2 - h_1)} \quad (\text{m}) \quad (2.18)$$

Sedangkan jarak objek yang berada disekitar penangkal petir dapat ditentukan dengan persamaan 2.19[4]

$$R_2 = R_1 \left[ 1 - \sqrt{\frac{2d^2 h_2 - h_2^2}{2d^2 h_1 - h_1^2}} \right] \quad (\text{m}) \quad (2.19)$$

Keterangan :

$R_1$  = Radius proteksi bola bergulir (m)

$R_2$  = Radius terjauh objek/bangunan terhadap penangkal petir (m)

$d^2 = r^2$  = Jarak sambar petir (m)

$h_1$  = Tinggi total penangkal petir (m)

$h_2$  = tinggi objek/ bangunan (m)

### 4. Sudut Lindung

Sudut perlindungan menggambarkan daerah lindungan dengan menggunakan metoda bola gelinding dimana sudut lindung merupakan sudut antara garis singgung bola gelinding yang dapat mengenai terminal udara dan permukaan tanah. Menurut Zoro[10] nilai sudut lindung dari proteksi petir dapat ditentukan melalui persamaan 2.20[10]

$$\alpha^\circ = \text{Sin}^{-1} \left( 1 - \frac{h_{\text{bangunan}}}{r_{\text{sambar}}} \right) \quad (2.20)$$

Keterangan :

A = Sudut perlindungan ( $^{\circ}$  derajat)

$h_b$  = Tinggi bangunan (m)

$r_{sr}$  = Jarak Sambar (m)

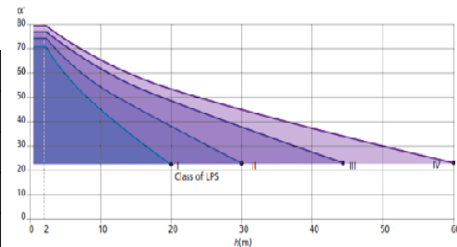
Persamaan 2.14 digunakan dengan ketentuan nilai  $h < r$

Pada tabel 2.7 dapat dijelaskan untuk sudut lindung yang telah ditetapkan oleh standard IEC-62305 pada level sistem proteksi petir.

Tabel 2.7. Sudut Lindung menurut Standard IEC-62305

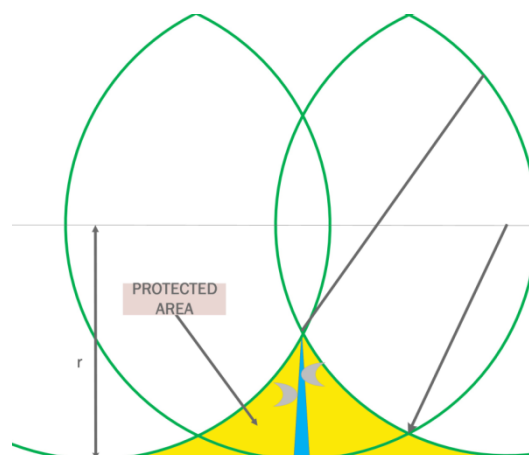
Lightning Protection Class	Rolling Sphere (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

(Sumber : Standar IEC 62305, 2006)



## 5. Daerah Lindung

Daerah lindung merupakan area yang dilindung oleh penyalur petir dari sambaran petir. Dengan menggunakan metode bola bergulir, maka daerah atau area yang terlindungi dapat digambarkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Daerah lindung metode bola bergulir

### 2.7.2.2. Konduktor Penyalur Arus Petir

Konduktor penyalur arus petir dikenal dengan *down conductor*. Adapun bagian dari main dan *down conductor* adalah kabel penghantar yang terbuat dari logam seperti besi/ tembaga, alumunium. Fungsi dari main dan adalah sebagai penghantar dan mengalirkan arus petir yang ditangkap oleh air terminal ke tempat pembuangan terakhir yaitu bumi, tanpa merusak benda/ perangkat apapun yang dilewatinya. Menentukan tahanan pada konduktor penyalur dapat ditentukan melalui persamaan 2.21[20]

$$R_{kp} = \rho_{kon} \frac{l}{A} \quad (2.21)$$

Keterangan :

$R_{kp}$  = Resistansi tahanan kabel penyalur ( $\Omega$ )

$\rho_{kon}$  = Resistifitas konduktor ( $\Omega$ )

$l$  = Panjang konduktor (m)

$A$  = Luas Penampang konduktor (m)

Adapun jenis-jenis kabel penghantar/ penyalur petir yang digunakan pada menara BTS, yaitu :

#### 1. Kawat Tembaga (BCC = *Bare Copper Cable*)

Kabel kawat tembaga murni yang disebut dengan kabel BC dan NYY.

Kabel BC adalah kabel murni tembaga yang telanjang tanpa isolator.



Gambar 2.14. Kabel kawat tembaga murni BC & NYY

Kabel BC dipasang didalam dari main bak control tanah menuju *copper rod* dengan sistem *cad-welding*. Sedangkan kabel NYY adalah kabel grounding tembaga murni yang memiliki 2 lapis isolator. Lapisan ini berfungsi untuk menghindari terjadinya induksi tembus samping dari arus petir yang sangat besar.

2. Kabel aluminium yang biasa disebut kabel AAC (*All Aluminium Cable*).



Gambar 2.15. Kabel penghantar aluminium AAC (*All Aluminium Cable*)

Kabel ini dipasang secara parallel dari air terminal/ *Splitzen* menuju bak kontrol yang dilindungi dengan pipa PVC. Bahan-bahan yang digunakan untuk penghanyat suatu penyalur petir harus memiliki beberapa faktor pendukung, antara lain :

1. Ketahanan terhadap panas
2. Pengaruh kimia terutama korosi
3. Konduktivitas tinggi
4. Kekuatan tarik mekanikal tinggi

5. Ringan dan murah
6. Tidak mudah patah.

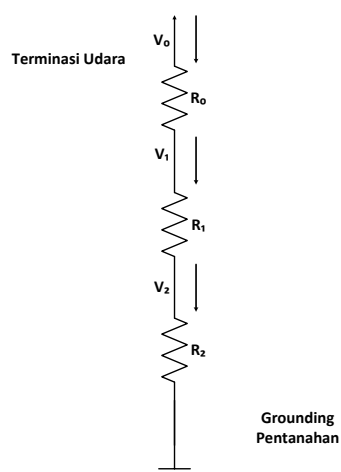
Pada tabel 2.8 menggambarkan dimensi kabel penghantar penyalur untuk sistem proteksi petir :

Tabel 2.8. Kabel Penghantar Sistem Proteksi Petir

Tingkat Proteksi	Bahan	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Resistansi Jenis ( $\Omega\text{m}$ )
I sampai IV	Tembaga	16	$1.68 \times 10^{-8}$
	Aluminium	25	$2.65 \times 10^{-8}$
	Besi	50	$9.71 \times 10^{-8}$

(Sumber : Standard SNI-03-7015-2004)

Kabel konduktor pembumian (*down conductor*) yang terpasang digunakan dengan menggunakan kabel tembaga BC50 SQMM. Untuk sistem kabel grounding yang terpasang pada menara BTS, digambarkan pada rangkaian konfigurasi rangkaian ekuivalen dari air terminal hingga ke sistem pembumian pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Konfigurasi rangkaian ekuivalen penyalur arus petir dari air terminal melalui *down conductor*

### 2.7.2.3. Sistem Pentanahan

Sistem Pentanahan atau biasa yang disebut dengan grounding system merupakan komponen utama dari sistem proteksi petir . Sistem pentanahan adalah tempat pembuangan terakhir dari arus sambaran petir yang ditangkap atau diterima oleh terminasi udara atau air terminal, kemudian dialirkan melalui kabel penghantar baik itu *main conductor* maupun *down conductor* menuju *grounding system*. Sistem Pentanahan adalah dengan menanamkan beberapa elektroda ke dalam tanah yang dilakukan melalui proses pengeboran maupun penggalian dengan kedalaman tertentu dengan tujuan mencapai nilai resistansi yang sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Tahanan elektroda tanah merupakan tahanan antara elektroda dengan suatu tanah referensi. Tahanan pentanahan adalah tahanan elektroda tanah dan hantaran hubung tanah. Maka tahanan pentanahan total adalah tahanan pentanahan dari keseluruhan sistem pentanahan yang terukur pada suatu titik.

Tanah merupakan konduktor yang buruk, setiap masing-masing tanah memiliki komposisi penyusun yang berbeda. Sehingga resistivitas tanah pun berbeda. Bila arus petir melewati lapisan tanah dengan tahanan tertentu, contohnya nilai tahanan sebesar 10 ohm. Maka akan timbul tegangan yang sangat besar diatas permukaan tanah yang mencapai nilai hingga 1 juta volt/meter. Tegangan itu disebut surja tegangan tanah (*ground potential surge*). Tahanan jenis tanah dari berbagai jenis macam tanah memiliki nilai bervariasi. Hal ini dikareakan beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah, yaitu :

1. Sifat dari Geologi tanah
2. Komposisi zat kimia di dalam tanah
3. Kandungan air tanah
4. Temperatur tanah
5. Perubahan musim

Pada Tabel 2.9 menunjukkan tahanan jenis berbagai macam tanah serta tahanan pentanahan dengan berbagai kedalaman dari berbagai ukuran panjang grounding.

Tabel 2.9. Tabel Tahanan Jenis Tanah

No	Jenis Tanah	Tahanan Jenis (Ohm)	Tahanan Pentanahan ( $\Omega$ )					
			Kedalaman batang			Panjang Pita Pentanahan		
			3	6	10	5	10	20
1	Humus Lembab	30	10	5	3	12	6	3
2	Tanah Pertanian	100	33	17	10	40	20	10
3	Tanah liat	150	50	25	15	60	30	15
4	Tanah Liat Berpasir	300	66	33	20	80	40	20
5	Pasir Lembab	1000	330	165	100	400	200	100
6	Pasir Kering	400	-	-	-	160	80	40
7	Beton 1:5	500	160	80	48	200	100	50
8	Kerikil Lembab	1000	330	165	100	400	200	100
9	Kerikil Kering	30000	10000	500	300	1200	600	300

(Sumber : Marsudi 2011., Pembangkit Energi Listrik , Erlangga, Jakarta)

Ada beberapa syarat untuk sistem pentanahan yang baik, yaitu :

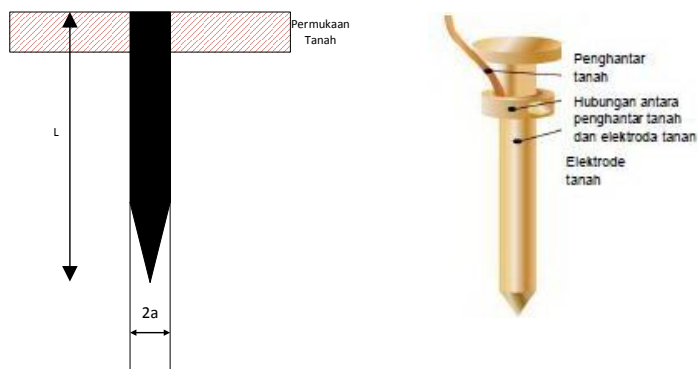
1. Sistem pentanahan harus memiliki tahanan pentanahan yang sesuai dengan standard yang sesuai berdasarkan kebutuhan pemakaian.
2. Elektroda yang ditanam harus memiliki bahan konduktor yang baik, tahan terhadap korosi dan cukup kuat.
3. Tahanan pentanahan harus baik untuk berbagai musim dan cuaca dalam kurun waktu minimal 1 tahun.

Menurut PUIL 2000 (3.18.11 & 3.18.4.1) elektroda yang dimaksud adalah benda yang terbuat dari logam padat (berupa tembaga) yang berfungsi sebagai pusat akhir pembuangan atau penghantaran arus energi utama petir. Secara umum, elektroda pentanahan yang sering digunakan ada 3 jenis, yaitu:

### 2.7.2.3.1. Elektroda Batang

#### 1. Pembumian Satu batang Elektroda

Elektroda batang adalah elektroda yang terbuat dari pipa besi baja atau batangan logam yang dipancangkan ke dalam tanah. Batang-bayang konduktor dihubungkan satu dengan yang lainnya.



A. Elektroda Tunggal                      B. Cadwelding System  
Gambar 2.17. Elektroda tunggal dan *cadwelding system*



Menurut HB. Dwigh[5], nilai resistansi untuk sebuah tahanan untuk suatu batang elektroda didapat dari persamaan 2.22[5]

$$R = \frac{\rho_{\text{kon}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{4l}{a} - 1 \right) \quad (2.22)$$

Keterangan :

$R$  = Resistansi tahanan ( $\Omega$ )

$\rho_{\text{konduk}}$  = Resistifitas konduktor ( $\Omega$ )

$l$  = Panjang elektroda (m)

$a$  = Jari-jari elektroda (m)

Setiap batang elektroda memiliki nilai kapasitansi dan induktansi yang dapat ditentukan dengan persamaan 2.23 dan 2.24 [2]

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot l}{18 \cdot \ln \left( \frac{4l}{r} \right)} 10^{-9} \quad (2.23)$$

Keterangan :

$C$  = Kapasitansi batang rod (F)

$\epsilon_r$  = Konstansta dielektrik tanah (4 untuk tanah kering/humus)

$l$  = Panjang elektroda (m)

$r$  = Diameter elektroda (m)

$$L_{\text{rod}} = 2l \cdot \ln \frac{4l}{r} \cdot 10^{-7} \quad (2.24)$$

Keterangan :

$L$  = Induktansi batang rod (F)

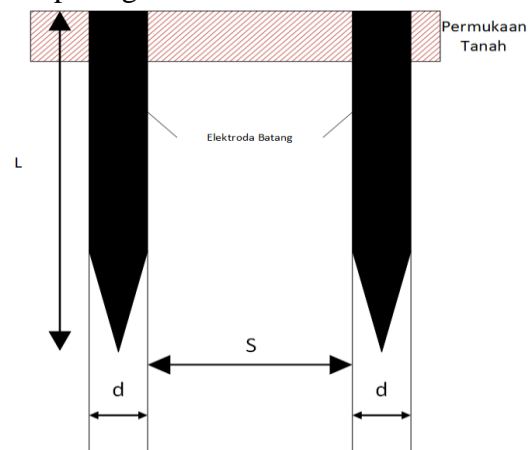
$l$  = Panjang elektroda (m)

$r$  = Diameter elektroda (m)

Dari persamaan 2.16, dapat diketahui semakin panjang konduktor dan semakin besar diameter konduktor yang ditanam didalam tanah, maka semakin kecil tahanan p bumiannya.

## 2. P embumian Dua Batang Elektroda

P embumian dengan memperbanyak elektroda dapat memperkecil nilai tahanan p embumian yang ditanam dan dihubungkan secara paralel. P embumian dengan menggunakan dua batang elektroda ditunjukkan pada gambar 2.18



Gambar 2.18. P embumian dengan menggunakan dua batang elektroda

Dari hasil penelitian dari HB. Dwight, tentang penanaman 2 batang elektroda. Maka, J Marshall menghitung tahanan pentanahan untuk dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah melalui persamaan 2.25[5]

$$R = \frac{\rho_{\text{konduk}}}{4\pi l} \left( \ln \frac{4l}{a} - 1 + \ln \left( \frac{2l + \sqrt{S^2 + 4l^2}}{S} \right) + \frac{S}{2l} + \frac{\sqrt{S^2 + 4l^2}}{2l} \right) \quad (2.25)$$

Keterangan :

R = Resistansi tahanan ( $\Omega$ )

$\rho_{\text{kon}}$  = Resistifitas konduktor ( $\Omega$ )

$l$  = Panjang elektroda (m)

$a$  = Jari-jari elektroda (m)

$S$  = Jarak antara 2 konduktor (m)

### 3. Pembumian Beberapa Batang Elektroda (Multiple Rod)

Pembumian beberapa batang elektroda (*Multiple Rod*) yang ditanam secara tegak lurus kedalam tanah dengan metode pembumian bersama maka nilai resistansi dapat diketahui dengan persamaan 2.26[9]

$$1/R_{\text{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}}$$

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{n \times \frac{1}{R_1}} \quad (2.26)$$

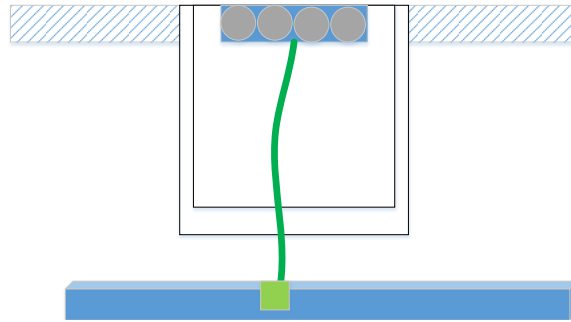
Keterangan :

$n$  = Jumlah Elektroda batang

$R_1$  = Tahanan pembumian sama untuk  $n$  buah ( $\Omega$ )

#### 2.7.2.3.2. Elektroda Pelat

Elektroda Pelat yang biasanya dipasang dengan bentuk empat persegi panjang dan terbuat dari tembaga dan ditanam di dalam tanah. Elektroda plat pada pentanahan dipasang didalam bak kontrol. Dan semua elektroda plat dihubungkan secara parallel ke dalam Bak kontrol dengan menggunakan kabel BC.



Gambar 2.19. Elektroda plat

Pada elektroda plat tahanan pembumian dapat dihitung dengan persamaan 2.27[5]

$$R_p = \frac{\rho_{\text{tanah}}}{2\pi L_p} \left[ \ln \left( \frac{8 W_p}{0,5 W_p + T_p} \right) - 1 \right] \quad (2.27)$$

Keterangan :

$R_p$  = Tahanan pentanahan pelat ( $\Omega$ )

$\rho_t$  = Tahanan jenis tanah ( $\Omega\text{m}$ )

$L_p$  = Panjang pelat (m)

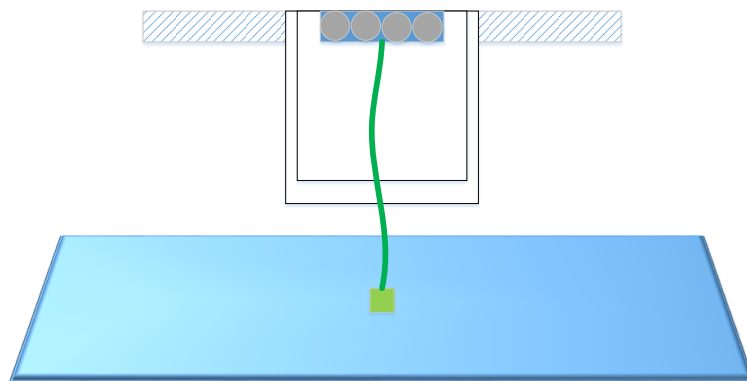
$W_p$  = Lebar pelat (m)

$T_p$  = Tebal pelat (m)

### 2.7.2.3.3. Elektroda pita

Elektroda pita terbuat dari bahan metal yang ditanam secara horizontal sedalam  $\pm 2\text{feet}$ . Elektroda pita ini bisa dipasang pada struktur tanah yang memiliki tahanan jenis rendah dan pada daerah yang tidak memiliki kekeringan.

Elektroda pita dapat digambarkan pada gambar 2.20.



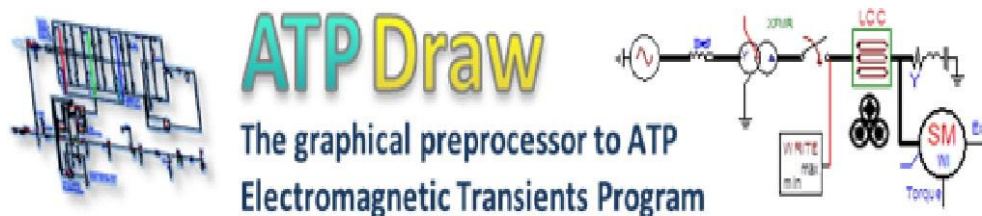
Gambar 2.20 Elektroda pita

## 2.8. Software *Alternative Transient Program*

*Alternative Transient Program* (ATP) merupakan software program pada ketenagalistrikan yang didesain untuk menyelesaikan persoalan Transient pada sistem tenaga listrik. Program ini pertama sekali dikembangkan oleh H.M Dommel di tahun 1960-an di Munich Institute of Technology, yang kemudian dilanjutkan di BPS (*Bonneville Power Administration*) bersama dengan S. Meyer.

Program *Alternative Transient Program* (ATP), merupakan software pengembangan dari program *Elektromagnetic Transient Program* (EMTP), yang dikembangkan di tahun 2012 oleh Dr. Hans Kr. Hoidalen di *SINTEF Energy Research/ Norwegian University of Science and Technology in Norway*, serta didukung oleh *Bonneville Power Administration, Portland-Oregon-USA*.

Tampilan software ATP Draw dapat ditampilkan melalui pada gambar 2.21



Gambar 2.21 Tampilan *software* ATP Draw

## 2.9. Data Sambaran Petir

Data petir dihasilkan dari data *Software Lightning Detector* yang merupakan alat yang mampu mendeteksi petir di titik lokasi penelitian sampai dengan radius 150 km. Data secara actual dan real time dan mampu mendeteksi sampai dengan 100% pelepasan energi muatan dari awan ke tanah serta mampu memberikan informasi perkiraan jarak dari sensor terhadap tempat terjadinya petir *software* pendeteksi petir yang digunakan oleh BMKG Medan Tuntungan adalah *software* Lightning 2000 yang dilengkapi dengan Lightning Detector yang dirangkai dengan *Boltek Lightning Detection System*. *Storm Tracker* ini bekerja dengan mendeteksi sinyal radio yang dihasilkan oleh petir. Dengan kata lain, antenna *Storm Tracker* dapat memberikan informasi arah dan jarak thunderstorm yang dikalkulasikan dengan kekuatan sinyal yang diterima.

Adapun data petir digunakan sebagai referensi terkait jumlah sambaran petir yang disimulasikan dengan software ATP Draw. Data jumlah sambaran petir digunakan sebagai dasar untuk menentukan langkah proteksi yang diperlukan dalam melindungi perangkat yang berada pada lokasi tower BTS. Dari software tersebut dapat diketahui jumlah sambaran petir dan peta sebaran petir yang

berada pada lokasi penelitian. Nilai yang ditampilkan merupakan hasil actual dari pencitraan satelit.



(Sumber : Buletin BMKG, 2018)

Gambar 2.22. *Lightning Detector* dan *Software Lightning 2000*

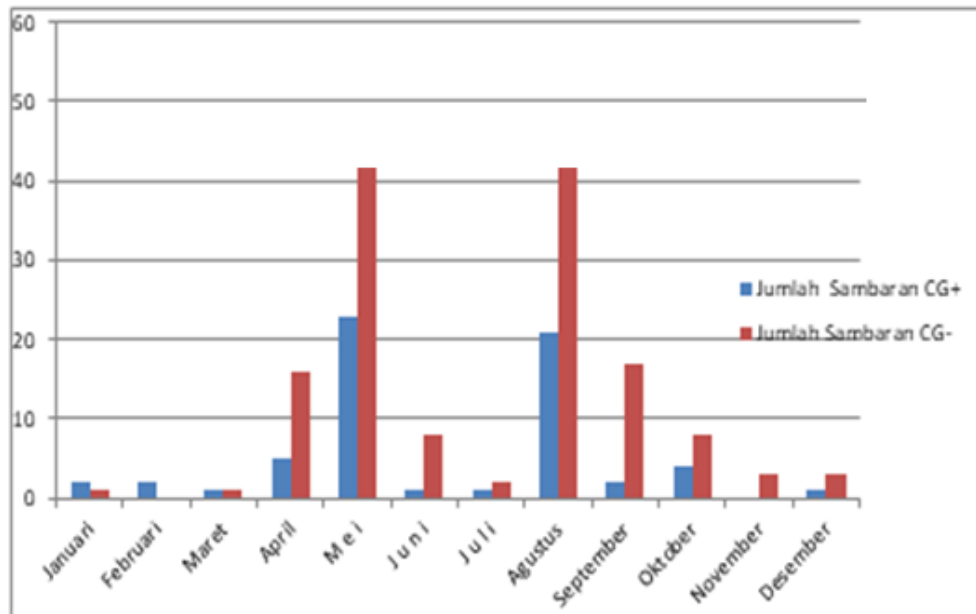
## 2.10. Jumlah Sambaran Petir

Data jumlah sambaran dan peta sambaran petir didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Tuntungan. Dengan menentukan lokasi Kantor MSC SMARTFREN. Jalan Pulau Batam No.1 Kecamatan Sei Tuan. Kabupaten Deli Serdang sebagai lokasi penelitian. Dan data jumlah dan grafik sambaran petir ditunjukkan pada Tabel 2.10 dan Gambar 2.23

Tabel 2.10. Jumlah Sambaran petir (CG- & CG+) di kantor MSC Medan

Tahun/ Bulan 2020	JUMLAH SAMBARAN PETIR LOKASI KEC. PERVUT SEI TUAN (MSC SMARTFREN MABAR)	
	PERIODE JANUARI – DESEMBER 2020	
	Jumlah Sambaran CG+	Jumlah Sambaran CG-
Januari	2	3
Februari	2	0
Maret	1	1
April	5	16
Mei	23	49
Juni	1	8
Juli	1	2
Agustus	21	47
September	2	17
Oktober	4	8
November	0	3
Desember	1	3

(Sumber : Data arsip BMKG Tuntungan Tahun 2020)

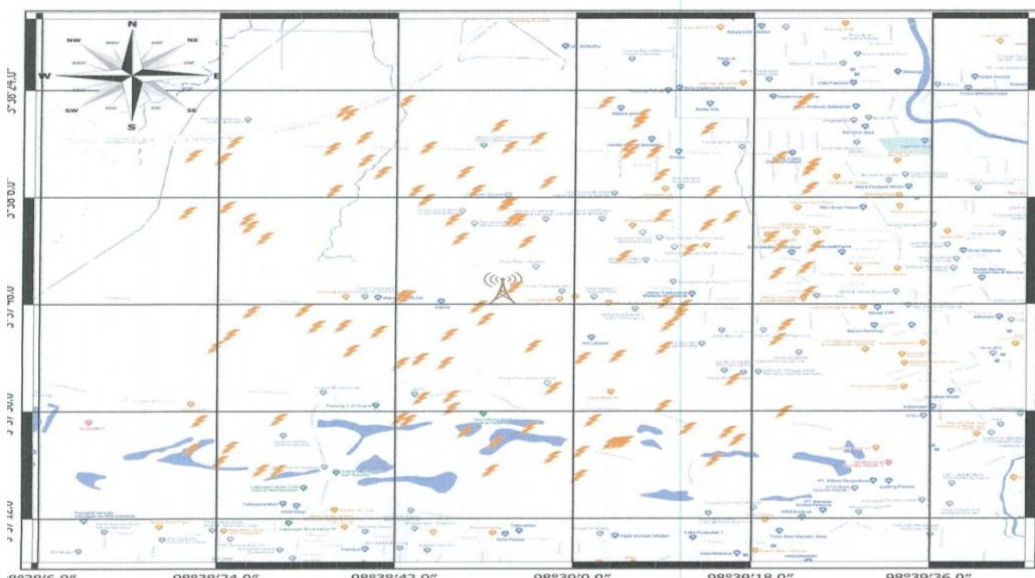


Gambar 2.23. Grafik Jumlah Sambaran petir (CG- & CG+) pada lokasi penelitian.

(Sumber : Data arsip BMKG Tuntugan Tahun 2020)

## 2.11. Peta Sambaran Petir

Peta sambaran untuk lokasi penelitian berada pada Kantor MSC SMARTFREN. Jalan Pulau Batam No.1 Kecamatan Sei Tuan. Kabupaten Deli Serdang yang ditunjukkan pada gambar 2.24.



Gambar 2.24. Peta Sebaran Petir di Kantor MSC SMARTFREN

(Sumber : Data arsip BMKG 2020)



## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Tempat dan Waktu Penelitian**

Adapun tempat pelaksanaan penelitian dilakukan di lokasi :

Lokasi penelitian:

Kantor MSC SMARTFREN. Jalan Pulau Batam No.1 Kecamatan Percut Sei  
Tuan. Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara

Longitude : 98.6829114

Latitude : 3.67193

Waktu penelitian : Bulan Januari – Desember 2020



Gambar 3.1 Kantor MSC SMARTFREN

## 3.2. Populasi dan Sampel

### 3.2.1 Populasi

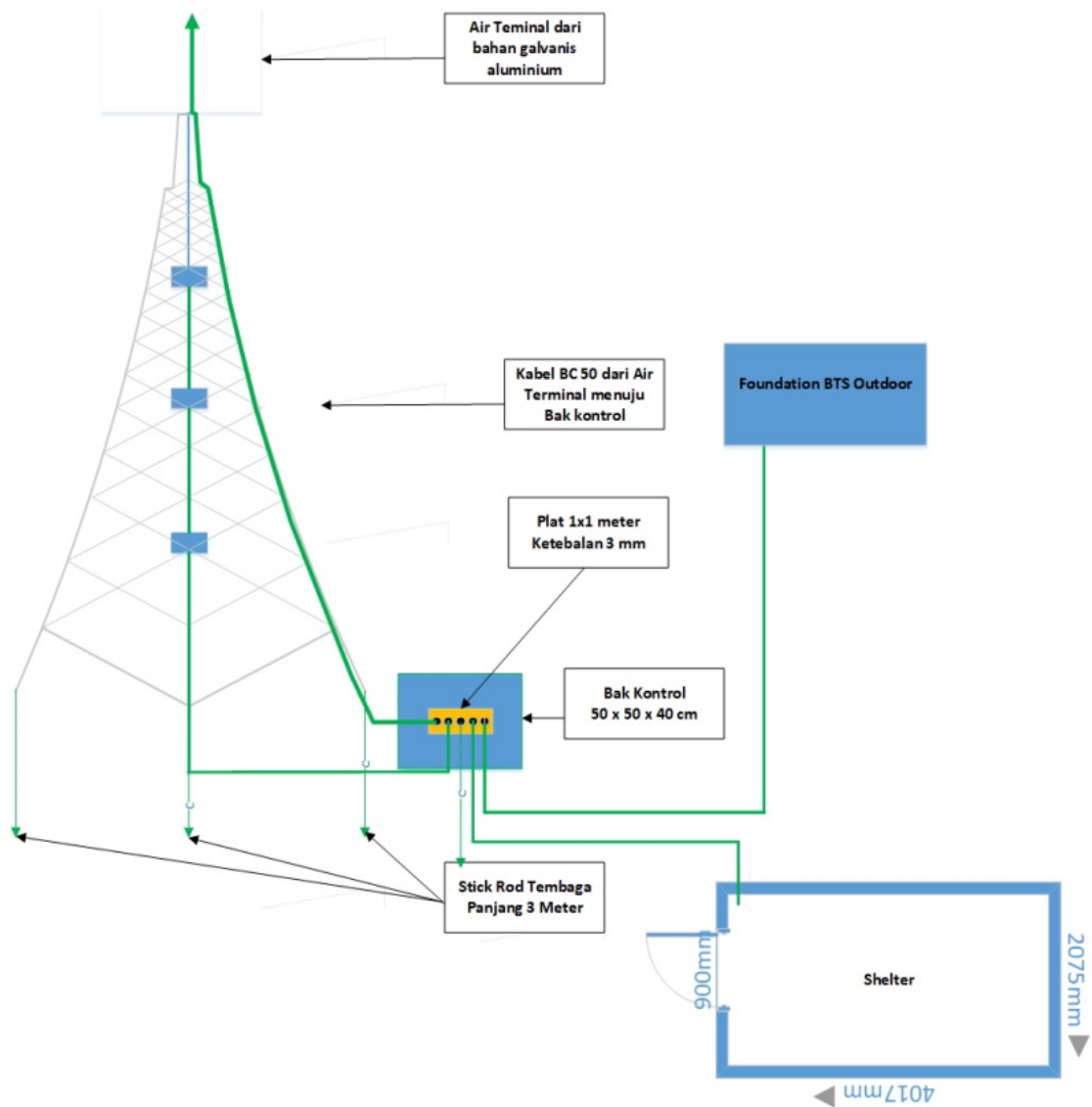
Populasi dalam penelitian ini adalah keseluruhan dari sistem proteksi eksternal yang berada pada ruang lingkup dari menara BTS. Adapun lokasi BTS yang pernah dilakukan pengukuran resistansi sistem proteksi petir sebanyak 40 site BTS. Dimana, setiap menara BTS dilengkapi dengan sistem proteksi eksternal terdiri atas 3 bagian, yaitu : terminasi udara (*Air Terminal*), Kabel penyalur (*Down Conductor*) dan Sistem Pentanahan (*Grounding System*). Adapun keseluruhan sistem proteksi eksternal berfungsi untuk menangkap dan mengalirkan arus petir ke tanah.

Keseluruhan dari sistem external grounding terintegrasi dan saling berhubungan antara satu dengan yang lain membentuk secara ring.

### 3.2.2 Sampel

Dalam penelitian ini, sampel data diambil dari data existing hasil pengukuran sistem grounding yang menggunakan alat ukur jenis *kyoritsu*. Data-data yang diambil dari pengukuran dicatat secara periodik saat pengambilan data. Data-data hasil pengukuran ini akan menjadi acuan data masukan saat simulasi sambaran petir mengenai sistem proteksi petir dengan menggunakan *software* ATP Draw.

Adapun untuk menganalisa sistem proteksi eksternal pada *tower* BTS diperlukan *layout existing* dari *tower* BTS yang digambarkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Struktur *existing* sistem proteksi *tower* BTS

### 3.3. Definisi Operasional Variabel

Variabel-variabel yang diamati dalam penelitian meliputi :

1. Bentuk karakteristik dari gelombang impuls petir yang sesuai dengan standard *CIGRE* dan *IEC62305*.
2. Perhitungan sudut proteksi dan area yang masuk ke dalam area proteksi dari sistem proteksi eksternal tower telekomunikasi.
3. Nilai besar arus impuls petir yang melewati dari istem proteksi eksternal yang dimulai ditangkap oleh *air terminal* kemudian melewati *down conductor* sampai dengan pada sistem pentanahan tower.

Adapun data-data yang dikumpulkan sebagai referensi adalah sebagai berikut :

1. *Struktur layout existing tower* BTS.
2. Layout existing sistem proteksi eksternal yang meliputi : terminasi udara, kabel penyalur dan sistem pentanahan digambarkan pada lampiran 1.
3. Rangkaian ekivalen sistem proteksi petir eksternal yang meliputi : terminasi udara, kabel penyalur dan sistem pentanahan.
4. Data karakteristik petir dari standarisasi yang telah ditetapkan oleh IEC 62305 dengan ketentuan sebagai berikut :
  - a. Arus impuls maksimum : 100 kA, 95 kA dan 80 kA
  - b. Periode Arus T muka dan T ekor : sesuai dengan standar *CIGRE & IEC 62305*

### **3.4. Teknik Pengumpulan Data**

Pada penelitian ini, teknik pengumpulan data dilakukan dengan metode studi literatur dan observasi. Metode observasi dilakukan dengan cara yaitu observasi partisipatif dan observasi non partisipatif. Metode observasi partisipatif dilakukan dengan melakukan pengamatan secara langsung dalam kegiatan memperoleh sumber data. Dalam melakukan observasi, penulis melakukan pengambilan data karakteristik petir, data hasil pengukuran dan data pendukung lainnya. Sedangkan observasi non partisipatif dilakukan dengan melakukan pengukuran parameter yang diperlukan untuk pemodelan dan evaluasi pengukuran terhadap sistem proteksi *tower* BTS.

### **3.5. Teknik Analisis Data**

Dalam pelaksanaan penelitian, teknik analisa data dilakukan dengan melakukan simulasi rangkaian ekuivalen sistem proteksi eksternal dengan menggunakan software *ATP Draw v5.7*. Hal ini digunakan untuk menganalisa karakteristik dari impuls petir terhadap sistem proteksi eksternal tower telekomunikasi.

#### **3.5.1. Air Terminal**

Air Terminal merupakan bagian awal dari sistem proteksi petir yang berada paling atas pada *tower* BTS yang berfungsi sebagai menangkap arus impuls dari sambaran petir. Ketinggian menara 72 meter memiliki terminasi udara yang terbuat dari aluminium setinggi 2 meter dan memiliki satu sistem

pentanahan yang terpisah. Sehingga penyaluran arus petir hanya melalui 1 panyalur konduktor. . *Air Terminal* dihubungkan dengan kabel grounding BC yang terisolasi. *Air terminal* akan berfungsi dengan baik jika, memenuhi standard SNI 03-7015-204.

Air Terminal atau terminasi udara dipasang pada ujung tower telekomunikasi yang berfungsi sebagai penerima sambaran langsung dari sambaran petir untuk disalurkan ke saluran konduktor. Untuk menentukan area yang diproteksi dari sistem proteksi eksternal, dapat ditentukan dengan menentukan sudut proteksi dari *Air Terminal* atau terminasi udara.

Dan untuk mengetahui radius area yang diproteksi dari sistem proteksi eksternal dapat menggunakan metode *Rolling Spehre (RSM)*.

1. Nilai jarak sambar ditentukan dengan persamaan 2.16.
2. Nilai sudut proteksi ditentukan dengan persamaan 2.20.

Data spesifikasi air terminal dan menara BTS dijelaskan melalui tabel 3.1

Tabel 3.1 Data existing menara BTS dan spesifikasi air terminal

Jenis	Keterangan
Menara BTS	Tinggi total menara : 72 meter
Air Terminal (Terminasi Udara)	Panjang 2 meter
	Diameter 25 mm <sup>2</sup>
	Hambatan jenis : $2.8 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ Jenis bahan : Pipa logam Galvanis (Jenis aluminium)

### 3.5.2. Kabel Penyalur (*Down Conductor*)

Bagian proteksi eksternal yang ke-dua adalah *down conductor*. Adapun fungsi *down conductor* adalah menyalurkan arus petir dari terminasi udara ke

sistem pentanahan (*grounding system*). Adapun data existing dari kabel penyalur dijelaskan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data *existing* kabel penyalur *tower* BTS

Jenis	Keterangan
Kabel penyalur ( <i>Down Conductor</i> )	Kabel Alumunium 70SQMM
	Panjang kabel : 75 meter
	Luas penampang : 50 mm <sup>2</sup>
	Penyambungan secara cadwelding ke saluran elektroda batang.

### 3.5.3. Sistem Pentanahan

Elektroda pentanahan untuk sistem pentanahan yang digunakan adalah elektroda jenis pelat yang terintegrasi dengan elektroda batang. Maka nilai resistansi dari sistem pentanahan adalah :

1. Elektroda plat ditentukan pada persamaan 2.27.
2. Elektroda batang yang terdiri dari 6 elektroda batang yang tersusun secara paralel. Maka nilai resistansi total dari 6 elektroda batang adalah dengan menggunakan persamaan 2.25.

Adapun data existing dari elektroda batang yang digunakan dijelaskan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data *existing* elektroda batang dan plat sistem pentanahan *tower* BTS

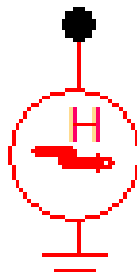
Jenis	Keterangan
Elektroda Batang Sistem Pentanahan	Jenis : Elektroda Batang
	Diameter : 2 cm
	Kedalaman dari permukaan tanah = 3 meter
	Kedalaman dari permukaan tanah = 30 cm
	Jenis : Tembaga
Elektroda Plat Sistem Pentanahan	Dimensi P = 1 meter; L = 1 meter
	Ketebalan = 3 mm
	Kedalaman plat = 4 meter
	Jenis : Tembaga

### 3.6 Pemodelan/ Simulasi Sambaran Petir Terhadap Sistem Proteksi Eksternal

*ATP draw* lebih ditekankan untuk masalah transien pada sistem tenaga listrik, walaupun demikian program ini juga dapat menyelesaikan persoalan tenaga listrik dalam keadaan lunak. *ATP draw* dapat digunakan untuk menganalisis transient pada rangkaian yang mengandung parameter terkonsentrasi (R, L dan C). *ATP draw* dapat digunakan juga untuk menganalisis gelombang impuls pada operasi surja hubung (*Switching surge*) atau surja petir (*lightning surge*) karena program ini secara khusus menyediakan fasilitas permodelan untuk grounding, dan gelombang impuls.

#### 1. Model Surja Petir

Untuk rangkaian pemodelan surja petir digunakan tipe *Heidler*. Adapun symbol surja petir digambarkan pada gambar 3.4

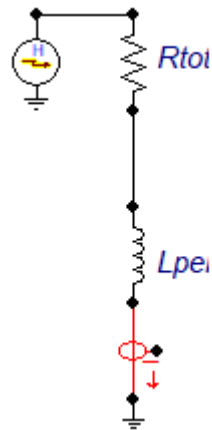


Gambar 3.3. Model Surja Petir Tipe Heidler



## 2. Model Konduktor Penyalur

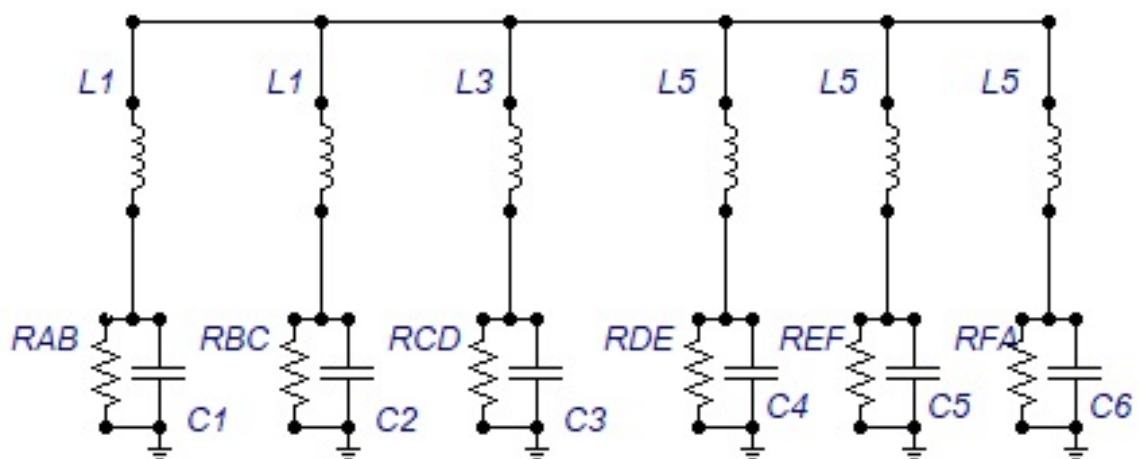
Konduktor penyalur pada sistem proteksi digambarkan dalam pemodelan adalah rangkaian R dan L yang terhubung secara seri digambarkan pada gambar 3.5



Gambar 3.4. Model Konduktor Penyalur

## 3. Model Sistem Pentanahan

Pada sistem pentanahan yang digunakan pada *tower* BTS dalam penelitian ini adalah sistem pentanahan yang menggunakan 6 *driven rod* yang digambarkan dalam pemodelan rangkaian pada gambar 3.5



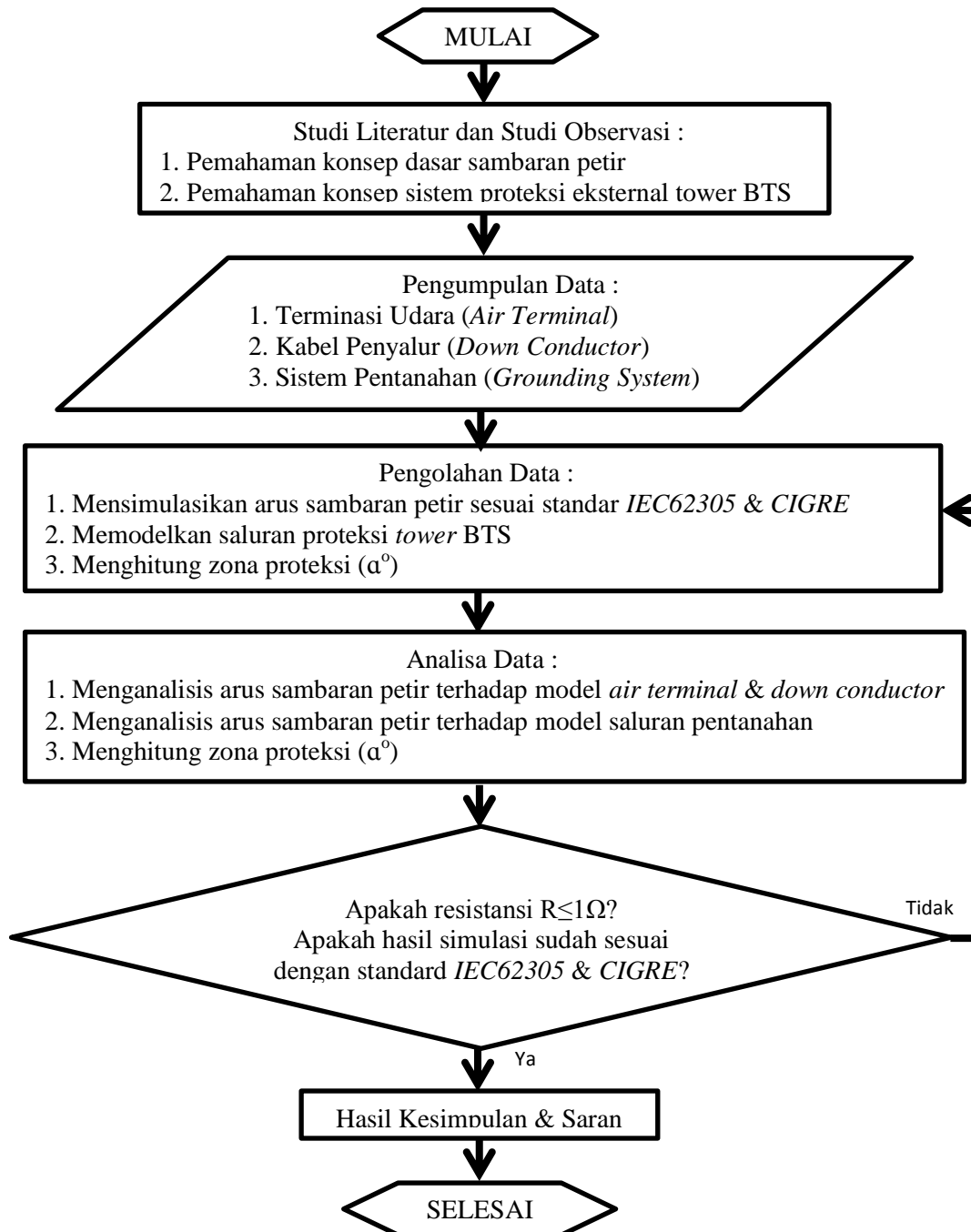
Gambar 3.5. Model Sistem Pentanahan

Pemodelan sambaran petir terhadap sistem proteksi eksternal digambarkan dan dijalankan dengan mode *run* dengan menggunakan *software ATP draw*. Pada pemodelan ini, parameter komponen yang membentuk rangkaian ekivalen yang digunakan adalah :

1. Arus petir yang digunakan dalam pemodelan sesuai dengan standar *IEC62305* yaitu sebesar 100 kA, 95 kA dan 80 kA
2. Rangkaian ekivalen dari terminasi udara ke konduktor penyalur terhubung secara seri dengan menghitung secara matematis untuk nilai tahanan dan induktansi konduktor penyalur terlebih dahulu.
3. Untuk sistem pentanahan yang telah digambarkan pada gambar 3.5 memiliki parameter tahanan, induktansi dan kapasitansi dari batang elektroda yang disusun secara paralel.
4. Gelombang impuls petir memiliki nilai T muka dan T ekor sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh *IEC 62305*  $1.2 \times 50 \mu\text{s}$  dan *CIGRE*  $3.3 \times 77.5 \mu\text{s}$ .

### 3.7 Diagram Alir/ Kerangka Penelitian

Diagram alir berikut menggambarkan kerangka penelitian secara matematis dan disusun menjadi dasar penelitian ini yang ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram Alir kerangka penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian ditunjukkan pada diagram alir gambar 3.6 dengan penjelasan sebagai berikut :

1. Langkah pertama dalam penelitian ini adalah studi literatur dan studi obeservasi. Dimana didalam studi literatur dapat diketahuin bagaimana pemahaman konsep dasar dari sambaran petir dan parameter petir yang dapat menyebabkan kerusakan pada perangkat dan bagaimana konsep dasar kerja dari sistem proteksi eksternal *tower* BTS yang dapat mengalirkan arus dan tegangan impuls petir ke hingga ke sistem pentanahan.
2. Langkah ke-dua dalam penelitian adalah mengumpulkan data-data existing yang meliputi sistem proteksi eksternal yang digunakan pada *tower* BTS yang sudah sesuai SNI. Data karakteristik petir yang telah ditetapkan oleh standar *IEC 62305* juga diperlukan sebagai bahan referensi untuk menentukan sistem level proteksi yang digunakan.
3. Langkah ke-tiga dalam penelitian adalah melakukan pengolahan data, dengan cara menggunakan *software ATP draw* untuk melakukan simulasi arus sambaran petir dengan menggunakan periode yang telah ditetapkan oleh *IEC 62305 & CIGRE*.

Pada proses pengolahan data, dilakukan langkah memodelkan saluran proteksi dari air terminal, kabel penyalur sampai dengan sisstem pentanahan.

Proses pengolahan data, juga melakukan perhitungan zona proteksi, supaya dapat diketahui zona yang diproteksi oleh proteksi eksternal.

4. Langkah ke-empat dalam penelitian adalah dengan melakukan analisis arus sambaran pertir terhadap model *air terminal*, *down conductor* dan sistem pentanahan. Menganalisis nilai resitansi proteksi eksternal juga dilakukan untuk kabel panyalur dan sistem pentanahan. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah sistem proteksi sudah sesuai dengan standar *IEC 62305* dengan menetapkan nilai resistansi total sebesar  $R \leq 1\Omega$ .

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Perhitungan dan Analisis Resiko Terhadap Sambaran Petir Langsung

Pada penelitian ini, langkah awal adalah dengan melakukan perhitungan dan analisis resiko terhadap sambaran petir langsung yang menyambar menara kemudian ditangkap dan dialirkan ke sistem pentanahan. Perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan hasil evaluasi sistem proteksi petir yang telah ditetapkan oleh IEC62305. Pada tabel 4.1, menjelaskan data sambaran petir di lokasi penelitian Kantor MSC SMARTFREN pada tahun 2020 yang diambil dari data arsip sambaran petir di BMKG Medan Tuntungan.

Tabel 4.1 Data Sambaran Petir Tahun 2020

No	Bulan	Jumlah Hari Guruh (CG+) + (CG-)
1	Januari	3
2	Februari	2
3	Maret	2
4	April	21
5	Mei	72
6	Juni	9
7	Juli	3
8	Agustus	68
9	September	19
10	Oktober	12
11	November	3
12	Desember	4
<b>Total Jumlah Hari/ Guruh (dalam setahun)</b>		<b>218</b>

#### 4.1.1. Perhitungan Resiko Terhadap Sambaran Langsung

Nilai kerapatan sambaran petir ke tanah ( $N_g$ ) dapat dihitung dengan persamaan 2.10.

$$N_g = 0,04 Td^{1,26} / km^2/tahun. \text{ Dengan nilai } Td = 218 \text{ setahun}$$

$$N_g = 25 \text{ Sambaran} / km^2/tahun$$

Penentuan nilai frekuensi sambaran langsung pada lokasi penelitian dapat dihitung dengan persamaan 2.11

$$N_d = N_g \cdot A_e 10^{-6}/tahun,$$

Dimana, nilai  $A_e$  adalah cakupan dari struktur ( $m^2$ ) yang memiliki frekuensi terkena sambaran langsung dalam setahun yang ditentukan dengan persamaan 2.12.

$$A_e = ab + 6 h (a+b) + 9 \pi h^2$$

$a$  dan  $b$  , merupakan panjang lebar dari menara BTS ( $a=7$  meter;  $b=7$  meter);  $h$  adalah tinggi menara BTS yaitu 72 meter.

$$A_e = (7 \times 7) + 6 \times 72 (7 + 7) + 9 \pi (72^2)$$

$$A_e = 152596,84 \text{ m}^2$$

Maka nilai frekuensi sambaran petir  $N_d = N_g \cdot A_e 10^{-6}/tahun,$

$$N_d = 25 \times 150844,84 \times 10^{-6}/tahun$$

$$N_d = 3,814921 \text{ /tahun}$$

Perhitungan nilai frekuensi dan kerapatan sambaran petir dapat menentukan nilai efisiensi dari sistem proteksi petir melalui persamaan 2.13.

$$E \geq 1 - \frac{Nd}{Ng}$$

$$E = 1 - \frac{3,814921}{25} = 0,84740316 = 0,84$$

#### 4.1.2. Analisis Resiko Terhadap Sambaran Langsung

Dari hasil perhitungan resiko terhadap sambaran petir secara langsung, maka dapat dianalisis bahwa dengan nilai efisiensi sebesar 0,8, maka tingka/level proteksi dari penangkal petir berada pada level proteksi IV dan arus puncak dari petir memiliki nilai sebesar 100kA. Nilai ini tunjukkan sesuai dengan Tabel 2.5 yang telah ditetapkan oleh standar SNI-03-7014.1-2004.

Lightning Protection Level (LPL)	Parameter Probabilitas Arus Puncak Sambaran Petir	Arus Puncak(kA)
I	0,99	200
II	0,97	150
III	0,91	100
IV	0,84	100

#### 4.2. Perhitungan dan Analisis Daerah Proteksi Petir pada Menara BTS

Setelah menentukan tingkat proteksi petir, selanjutnya adalah menghitung dan menganalisa luas daerah proteksi dari penyalur petir. Adapun metode yang

digunakan dalam hal ini adalah dengan metode bola bergulir. Ada beberapa parameter yang harus ditentukan dalam metode bola bergulir yaitu radius bola bergulir ( $R$ ), jarak sambar ( $r_s$ ), radius proteksi ( $R_1$ ) dan ( $R_2$ ) serta sudut lindung ( $\alpha^\circ$ ).

#### 4.2.1. Perhitungan Daerah Proteksi Petir pada Menara BTS

Teori dan Metode yang digunakan untuk menentukan penempatan terminasi udara atau air terminal adalah dengan menggunakan metode bola bergulir (rolling sphere). Berdasarkan standard IEC 62305 metode rolling sphere dianggap sebagai bola khayal dengan radius  $R$  yang bergulir pada suatu objek. Pada standard penempatan terminasi udara yang telah ditetapkan oleh SNI-03-7015-2004 menetapkan radius bola bergulir untuk ketinggian terminasi udara 74 meter dengan level tingkat proteksi IV seperti pada Tabel 2.6.

Tingkat Proteksi	Radius R (meter)	Ketinggian / H (meter)	$\alpha^\circ$			
I	20	20	25	-	-	-
II	30	30	35	25	-	-
III	45	45	45	35	25	-
IV	60	60	55	45	35	25

Adapun nilai radius bola bergulir dapat dihitung dengan persamaan 2.15.

$$r_{sb} = I^{0,75} (\text{m})$$

$$I = \sqrt[0,75]{60}$$

$$I = 80 \text{ kA}$$

Selanjutnya menentukan parameter dalam metode bola bergulir, yaitu jarak sambar ( $r_s$ ), radius proteksi ( $R_1$ ) dan ( $R_2$ ) serta sudut lindung ( $\alpha^\circ$ ).



Menurut Zoro (2018) jarak sambar ( $r_s$ ) daerah tropis dapat ditentukan dengan persamaan Amstrong dan Whitehead dengan persamaan 2.16 :

$$r_s = 6,7 \cdot I^{0,8} \text{ (m)}$$

$$r_s = 6,7 \cdot 80^{0,8}$$

$$r_s = 223,124 \text{ meter}$$

Radius proteksi digunakan untuk menentukan objek yang berada pada sekitar penangkal petir apakah terlindungi atau tidak oleh sistem penangkal petir.

Radius proteksi bola bergulir ( $R_1$ ) dapat dihitung dengan persamaan 2.18.

$$R_1 = \sqrt{h_1(2d_{\square} - h_1)} \text{ (m)}$$

Dimana nilai  $d_{\square} = r_s = 223,124$  meter

Pada menara telekomunikasi MSC Medan, secara teoritis bangunan shelter masih aman dari bahaya sambaran petir secara langsung. Dengan jarak bangunan yang memiliki jarak 6 meter dari menara dan tinggi menara 72 meter dan ditambah panjang terminasi udara yang memiliki panjang 2 meter, maka kita dapat menentukan panjang radius proteksi dari bola bergulir adalah :

$$R_1 = \sqrt{74(2 \times 223,124 - 74)}$$

$$R_1 = 165,97 \approx 166 \text{ meter}$$

Maka luas radius perlindungan menara telekomunikasi yang dilengkapi dengan terminasi udara adalah :

$$A = \pi \times (R_1)^2$$

$$A = \pi \times (166)^2$$

$$A = 86.525,84 \text{ m}^2$$

Sedangkan jarak objek terjauh ( $R_2$ ) yang berada disekitar penangkal petir dapat ditentukan dengan persamaan 2.19.

$$R_2 = R_1 \left[ 1 - \sqrt{\frac{2d \cdot h_2 - h_2^2}{2d \cdot h_1 - h_1^2}} \right] \text{ (m)}$$

Dikarenakan dianggap tinggi bangunan shelter dan bangunan yang disekitarnya paling tinggi adalah 12 meter, maka nilai jarak objek terjauh yang terlindungi oleh sambaran petir adalah sebesar :

$$R_2 = 166 \left[ 1 - \sqrt{\frac{2 \times 223,124 \times 12 - 12^2}{2 \times 223,124 \times 74 - 74^2}} \right] \text{ (m)}$$

$$R_2 = 93,83 \text{ meter.}$$

Untuk menentukan sudut perlindungan yang merupakan sudut antara garis singgung bola gelinding dan permukaan tanah, dapat ditentukan dengan persamaan 2.20.

$$\alpha^\circ = \text{Sin}^{-1} \left( 1 - \frac{h}{r} \right)$$

Dengan ketentuan  $h < r$ , dimana  $h$  adalah tinggi shelter = 12 meter; dan nilai jarak sambar = 223,124 meter

Maka didapat nilai  $\alpha$  sebesar :

$$\alpha^\circ = \text{Sin}^{-1} \left( 1 - \frac{12}{223,124} \right)$$

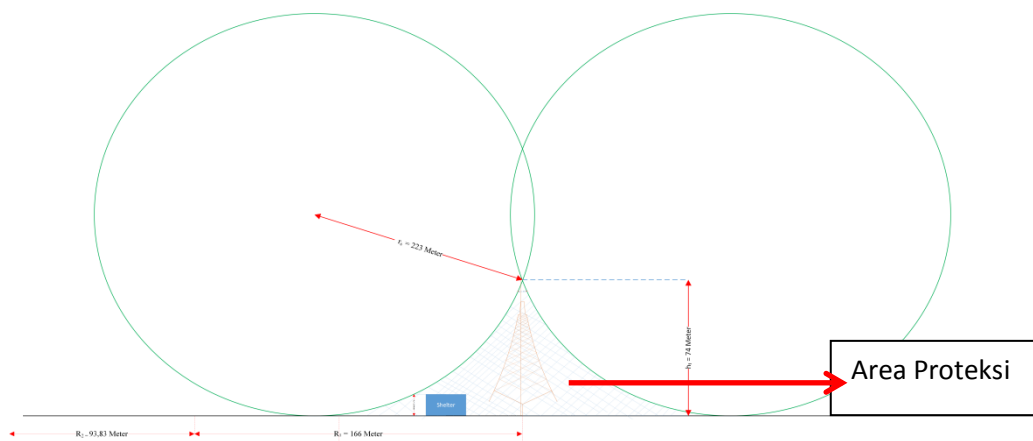
$$\alpha^\circ = \text{Sin}^{-1} (1 - 0,053)$$

$$\alpha^\circ = 71,26$$

$$\alpha^\circ \approx 71^\circ$$

#### 4.2.2. Analisis Daerah Proteksi Petir pada Menara BTS

Berdasarkan hasil perhitungan dapat dianalisis daerah proteksi petir yang dapat ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Area Proteksi dari Sistem Penangkal Petir

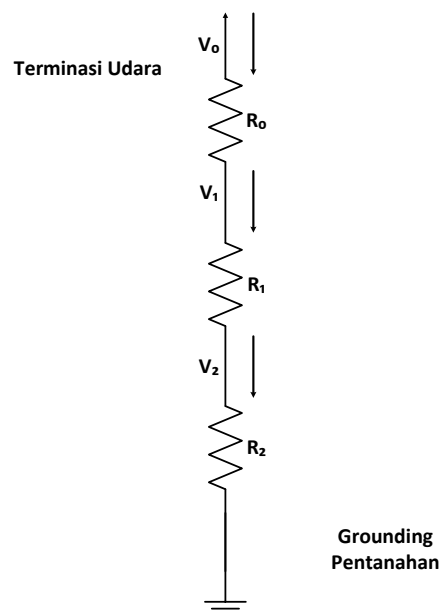
Dari gambar 4.1 dapat dianalisis sebagai berikut :

1. Dari tabel 2.6 dapat diketahui radius dari bola bergulir, dimana didapatkan nilai radius adalah 60 meter dan berada pada level proteksi tingkat IV.
2. Nilai arus petir minimal 80 kA. Hal ini mengartikan jika arus dibawah arus petir minimal menara BTS masih dapat bertahan, tetapi jika lebih dari 80 kA, maka petir akan ditangkap oleh penangkal petir dengan arus maksimal 100 kA.
3. Pada *tower* BTS secara teoritis bangunan shelter yang memiliki ketinggian 12 Meter dan berjarak 9 Meter dari *tower* BTS masih masuk ke dalam area proteksi sistem penangkal petir seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1
4. Adapun jarak sambar atau panjang radius protesinya bola bergulir  $R_1 = 166$  Meter; dan radius terjauh objek/bangunan terhadap penangkal petir yang diukur dari titik  $R_1$  adalah  $R_2 = 93,83$  Meter.

5. Sudut perlindungan merupakan gambaran daerah perlindungan dengan menggunakan metoda bola gelinding dimana sudut lindung merupakan sudut antara garis singgung bola gelinding yang dapat mengenai terminal udara dan permukaan tanah. Adapun besar sudut lindung ( $\alpha$ ) adalah  $71^\circ$ .

### 4.3. Perhitungan Beban Korosi Pada Terminasi Udara

Rangkaian penyalur arus petir yang dimulai dari air terminal hingga ke kabel penyalur (*Down conductor*) dapat digambarkan dengan rangkaian seri pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Rangkaian Seri Air Terminal – Kabel Penyalur

Dimana nilai  $R_0$ ,  $R_1$  dan  $R_2$  didapat dari hasil pengukuran dilapangan dengan :

$$R_0 = 0,000218 \Omega; R_1 = 0,0145 \Omega; R_2 = 0,6065 \Omega.$$

Sehingga nilai R total untuk terminasi udara hingga ke down conductor yang terhubung secara seri :

$$R_{\text{total}} = R_0 + R_1 + R_2 = 0,000218 \Omega + 0,0145 \Omega + 0,6065 \Omega = 0,62 \Omega$$

Maka tegangan dari terminasi udara dapat dihitung dengan

$$V_0 = I \times R_{\text{total}}$$

Dimana nilai I minimal sebesar  $I = 80 \text{ kA}$

$$V_0 = I \times R_{\text{total}}$$

$$V_0 = 80 \text{ kA} \times 0,62 \Omega$$

$$V_0 = 49,6 \text{ kV}$$

Dari nilai tegangan diatas, dapat ditentukan nilai beban korosi dari terminasi udara. Dimana terminasi udara merupakan berbahan material logam dan akan mengalami pelelehan logam yang merupakan efek dari arus petir dan banyaknya muatan yang dibawa. Dengan asumsi nilai arus petir minimal  $80 \text{ kA} \approx 80 \text{ kA} - 100 \text{ kA}$ . Dengan Muatan impuls Q sebesar  $10 - 50$ , maka pelelehan logam dapat ditentukan persamaan 2.7.

$$v = \frac{w}{\gamma (Cw \cdot \theta + Cs)}$$

Adapun spesifikasi material dari terminasi udara ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2. Spesifikasi Material Terminasi Udara Aluminium (Standard IEC 62305

Material	Alumunium
Temperatur Leleh = $\partial$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	658
Panas Leleh = Cs (J/Kg)	397000
Kapasitas Panas Spesifik = Cw (J/Kg)	908
Rapat Massa = $\gamma$ (Kg / m <sup>3</sup> )	2700
Tegangan = V (Volt)	49600
$(Cw \times \partial) + Cs$	994464
$\gamma \times ((Cw \times \partial) + Cs)$	2685052800

Untuk perhitungan volume pelelehan logam pada terminasi udara, dapat ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Volume Pelelehan Logam pada Terminasi Udara

Arus (kA)	Q (C)	W (J)	Volume Pelelehan Logam (m <sup>3</sup> )
80	10	248000	0,0000920
82	15	372000	0,00013
84	20	496000	0,00018
86	25	620000	0,00023
88	30	744000	0,00027
90	35	868000	0,00032
92	40	992000	0,00036
95	45	1116000	0,00041
100	50	1240000	0,00046

#### 4.4. Perhitungan Beban Korosi Pada Konduktor Penyalur

Konduktor Penyalur (Down Conductor) yang terpasang adalah dengan menggunakan kabel alumunium yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Spesifikasi Konduktor Penyalur

Jenis Kabel Alumunium	70 SQMM
Luas penampang (A)	25 mm <sup>2</sup>
Panjang Kabel (l)	75 Meter
Hambatan Jenis Aluminium ( $\rho$ )	29 x 10 <sup>-9</sup> ( $\Omega$ m)
Arus Petir Minimal (I)	80 kA

$$R_1 = 0,0145 \Omega; R_2 = 0,6065 \Omega \text{ terhubung seri } R_{\text{total}} = R_1 + R_2 =$$

$$R_{\text{total}} = 0,0145 \Omega + 0,6065 \Omega = 0,621 \Omega$$

Maka Tegangan kabel konduktor adalah sebesar :

$$V_1 = I \times R_{\text{total}} = 80 \text{ kA} \times 0,621 \Omega = 49,68 \text{ kVolt}$$

Perhitungan volume pelelehan pada kabel konduktor ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Volume Pelelehan Logam pada Kabel Konduktor.

Arus (kA)	Q ( C )	W (J)	Volume Pelelehan kabel Konduktor (m <sup>3</sup> )
80	10	248,4	0,00000009
82	15	372,6	0,00000014
84	20	496,8	0,00000019
86	25	621	0,00000023
88	30	745,2	0,00000028
90	35	869,4	0,00000032
92	40	993,6	0,00000037
95	45	1117,8	0,00000042
100	50	1242	0,00000046
<b>Total Volume Pelelehan</b>			<b>0,0000025</b>

Volume keseluruhan dari kabel konduktor diasumsikan dengan sebuah tabung dengan panjang 75 meter.

Dengan Luas Alas =  $25 \text{ mm}^2 = 25 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$

Jika panjang kabel adalah 75 meter = 7500 cm

Maka Volume Total = Luas Alas x Panjang kabel =  $25 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \times 7500 \text{ cm}$

Volume total =  $1875 \text{ cm}^3$

Maka dengan perhitungan arus maksimum sampai dengan 100 kA volume total pelelehan kabel konduktor sampai dengan  $0,0000025 \text{ m}^3 = 25 \text{ cm}^3$

#### 4.5. Perhitungan Tegangan Jatuh Pada Elektroda Plat Pentanahan

Pada Menara MSC SMARTFREN digunakan sistem pembumian dengan menanamkan elektroda plat (pentanahan tunggal) dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Spesifikasi Elektroda Plat

Jenis Elektroda Plat	Alumunium
Panjang Plat ( $L_p$ )	1 Meter
Lebar ( $W_p$ )	1 Meter
Ketebalan ( $T_p$ )	1 Meter
Kedalaman Plat	4 Meter
Tahanan Jenis Tanah	30 $\Omega$

Elektroda plat pentanahan pembumian dapat dihitung dengan persamaan 2.27.

$$R_p = \frac{\rho_{\text{tanah}}}{2\pi L_p} \left[ \ln \left( \frac{8 W_p}{0,5 W_p + T_p} \right) - 1 \right]$$

$$R_p = \frac{4 \Omega}{2\pi \times 1} \left[ \ln \left( \frac{8 \times 1}{0,5 \times 1 + 4} \right) - 1 \right]$$

$$R_p = 0,267 \Omega$$

Maka untuk nilai tegangan pada elektroda pada saat terjadi sambaran petir adalah

$$V = I_{\text{petir}} \times R_p$$

$$V = 80 \text{ kA} \times 0,267 \Omega$$

$$V = 21,36 \text{ kV}$$

#### 4.6. Perhitungan Tahanan pada Konduktor Penyalur

Konduktor penyalur pada menara telekomunikasi menggunakan kabel yang terbuat dari logam seperti aluminium. Fungsi dari main dan down conductor adalah sebagai penghantar yang mengalirkan arus petir yang ditangkap oleh air terminal ke sistem pentanahan tanpa merusak benda/ perangkat yang dilewati. Untuk menentukan tahanan pada konduktor penyalur dapat ditentukan melalui persamaan 2.21.



$$R_{kp} = \rho_{kon} \frac{l}{A}$$

$$R_{kp} = 29 \times 10^{-9} \Omega m \frac{75 m}{25 \times 10^{-6}}$$

$$R_{kp} = 87 \text{ m}\Omega.$$

Sedangkan nilai induktansi pada kabel penyalur dapat ditentukan dengan persamaan 2.9.

$$L = 2l \times \log \left( \frac{2l}{a} \right) \cdot 10^{-7} \text{ (H)}$$

Keterangan:

$L$  = Induktansi dari Penghantar (Henry)

$l$  = Panjang Penghantar (m)

$a$  = jari-jari penghantar (m) =  $2,75 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$

$$L = 2 (75 \text{ m}) \times \log \left( \frac{2 \times 75 \text{ m}}{2,75 \times 10^{-6}} \right) \cdot 10^{-7} \text{ (H)}$$

$$L = 71,05 \times 10^{-7} \text{ H}$$

$$L = 71,05 \text{ }\mu\text{H}$$

#### 4.7. Perhitungan Tahanan pada Sistem Pentanahan

Dalam hal ini diasumsikan dengan pada saat petir menyambar menara BTS, karena menara BTS dianggap paling berpotensi untuk tersambar. Jika terjadi sambaran petir, arus mengalir di penghantar pentanahan menara. Adapun data existing/ spesifikasi elektroda batang yang digunakan pada menara BTS dijelaskan pada Tabel 4.7.

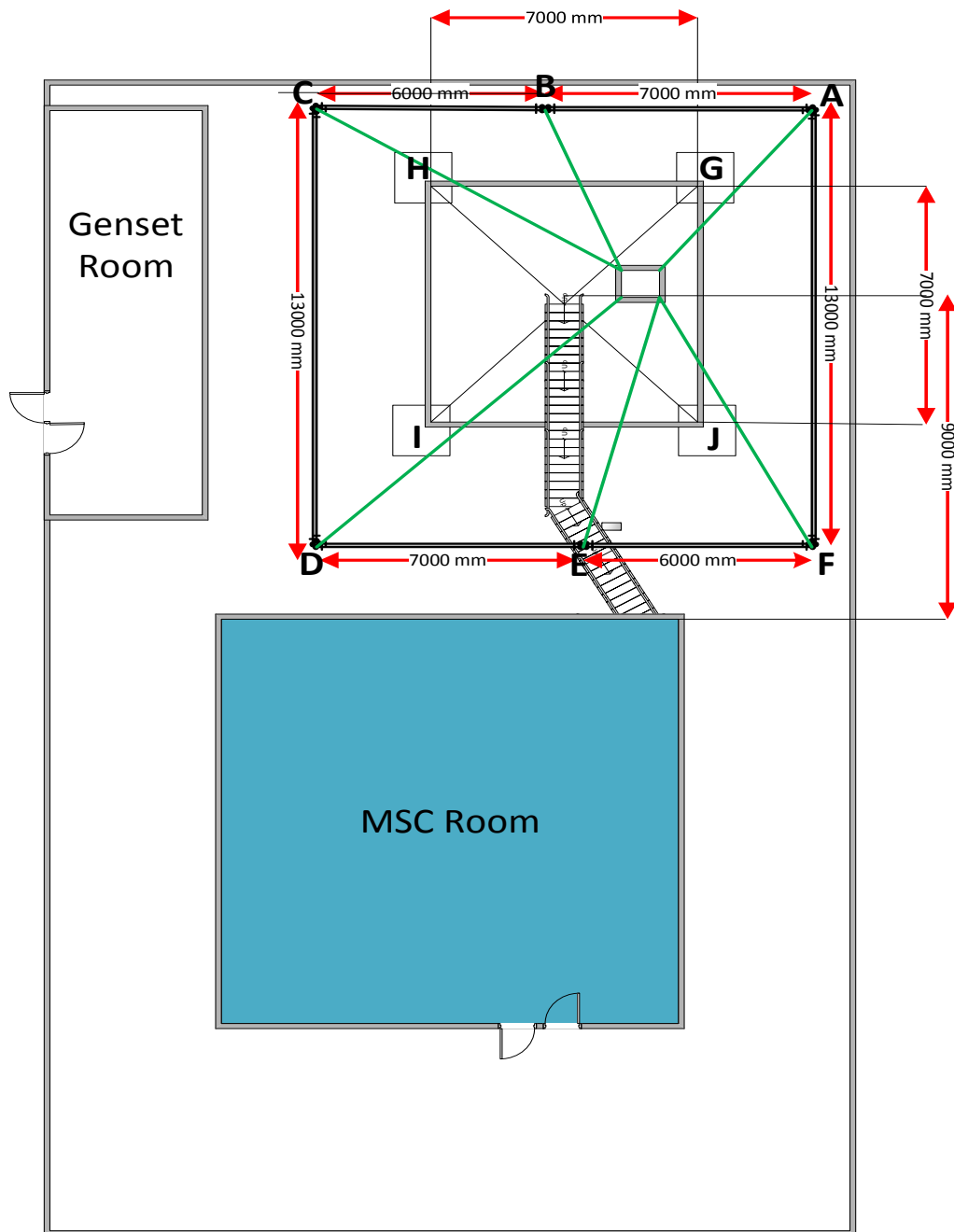
Tabel 4.7 Spesifikasi Elektroda Batang

<b>Parameter</b>	<b>Keterangan</b>
Panjang Elektroda Batang (L)	3 Meter
Kedalaman Elektroda Batang(T)	5 Meter
Kedalaman antara Permukaan Tanah (h)	30 Cm
Jenis Elektroda Batang	Tembaga
Hambatan Jenis Tanah (Jenis Humus)	30 $\Omega$
Jari-jari elektroda	0.01 Meter
Jumlah Elektroda Batang	6 Pcs
Jarak Pengamatan Antara Titik Elektroda A-B	7 Meter
Jarak Pengamatan Antara Titik Elektroda B-C	6 Meter
Jarak Pengamatan Antara Titik Elektroda C-D	13 Meter
Jarak Pengamatan Antara Titik Elektroda D-E	7 Meter
Jarak Pengamatan Antara Titik Elektroda E-F	6 Meter
Jarak Pengamatan Antara Titik Elektroda F-A	13 Meter

Kemudian, untuk perhitungan tanahan pentanahan untuk penggunaan lebih dari 2 batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah menggunakan persamaan dari J Marshall dari hasil penelitian HW Dwight pada persamaan 2.25.

$$R = \frac{\rho_{\text{konduk}}}{4\pi l} \left( \ln \frac{4l}{a} - 1 + \ln \left( \frac{2l + \sqrt{S^2 + 4l^2}}{S} \right) + \frac{S}{2l} + \frac{\sqrt{S^2 + 4l^2}}{2l} \right)$$

Layout elektroda pentanahan pada menara BTS ditunjukkan pada gambar 4.3



Gambar 4.3. Layout Elektroda Pentanahan pada Menara BTS

Data hasil perhitungan tahanan elektroda dari setiap titik pentanahan dapat dijelaskan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Perhitungan Nilai Tahanan Elektroda Batang Grounding

Tahanan Elektroda	Nilai Tahanan Elektroda ( $\Omega$ )
Perhitungan Tahanan Elektroda dari titik A-B = $R_{AB} = 7$ Meter	12 $\Omega$
Perhitungan Tahanan Elektroda dari titik B-C = $R_{BC} = 6$ Meter	12 $\Omega$
Perhitungan Tahanan Elektroda dari titik C-D = $R_{CD} = 13$ Meter	13 $\Omega$
Perhitungan Tahanan Elektroda dari titik D-E = $R_{DE} = 7$ Meter	12 $\Omega$
Perhitungan Tahanan Elektroda dari titik E-F = $R_{EF} = 6$ Meter	12 $\Omega$
Perhitungan Tahanan Elektroda dari titik F-A = $R_{FA} = 13$ Meter	13 $\Omega$

Dari hasil perhitungan tahanan elektroda batang grounding disetiap titik yang diparalelkan dengan jarak berbeda, maka dapat ditentukan nilai resistansi parallel total ( $R_{tot}$ ) pada pentanahan sebagai berikut :

$$1/R_{tot} = \frac{1}{(R_{AB})} + \frac{1}{(R_{BC})} + \frac{1}{(R_{CD})} + \frac{1}{(R_{DE})} + \frac{1}{(R_{EF})} + \frac{1}{(R_{FA})}$$

$$1/R_{tot} = \frac{1}{12} + \frac{1}{12} + \frac{1}{13} + \frac{1}{12} + \frac{1}{12} + \frac{1}{13}$$

$$R_{tot} = 0.083 + 0.083 + 0.076 + 0.083 + 0.083 + 0.076 = 0.484 \Omega$$

$$R_{tot} = 0.484 \Omega$$

Sedangkan nilai kapasitansi dan induktansi pada batang elektroda dapat ditentukan dengan persamaan 2.23 dan 2.24.

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot l}{18 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot l}{r}\right)} 10^{-7}$$

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot l}{18 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot l}{r}\right)} 10^{-9}$$

$$C = \frac{4 \times 3}{18 \cdot \ln\left(\frac{4 \times 3}{0.01}\right)} 10^{-9}$$

$$C = 94 \times 10^{-12} \text{ pF}$$

Nilai induktansi dari batang rod adalah,

$$L_{\text{rod}} = 2l \cdot \ln \frac{4l}{r} \cdot 10^{-7}$$

$$L_{\text{rod}} = 2 \times 3 \cdot \ln \frac{4 \times 3}{0.01} \cdot 10^{-7}$$

$$L_{\text{rod}} = 4,254 \text{ } \mu\text{H.}$$

Sedangkan perhitungan pentanahan pada kaki tower yang ditanam secara tegak lurus dapat ditentukan dengan persamaan 2.22.

$$R_p = \frac{\rho_{\text{konduk}}}{2\pi l} \left( \ln \frac{4l}{a} - 1 \right)$$

$$R_p = \frac{30}{2 \times 3.14 \times 3} \left( \ln \frac{4 \times 3}{0.01} - 1 \right)$$

$$R_p = 9.6978 \text{ } \Omega$$

#### 4.8. Perhitungan Induksi pada Kabel Penyalur

Tegangan induksi diakibatkan adanya rangkaian kopling magnetic dari kabel penyalur Aluminium 70SQMM menuju ke air terminal. Adapun nilai tegangan induksi pada kabel penyalur dapat dihitung dengan persamaan 2.8.

$$V_{\text{ind}} = L \frac{di}{dt} \text{ (v)},$$

Nilai L dapat dihitung melalui persamaan 2.9

$$L = 2l \times \log\left(\frac{2l}{a}\right) \cdot 10^{-7} \text{ (H)}$$

Adapun nilai penampang kabel aluminium 25 mm<sup>2</sup>, memiliki jari-jari penghantar

$$a = 2,75 \text{ mm}^2 = 2,75 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$L = 2 (75 \text{ m}) \times \log\left(\frac{2 \times 75 \text{ m}}{2,75 \times 10^{-6}}\right) \cdot 10^{-7} \text{ (H)}$$

$$L = 710,5 \times 10^{-7} \text{ H}$$

$$L = 71,05 \text{ } \mu\text{H}$$

Jika dianggap arus petir dan kecuraman arus petir yang mengalir pada suatu konduktor adalah 80 kA /  $\mu\text{s}$ , maka nilai tegangan induksi adalah :

$$V_{\text{ind}} = L \frac{di}{dt} \text{ (v)}$$

$$V_{\text{ind}} = 710,5 \times 10^{-7} \text{ H (} 80 \times 10^3 \text{ A / } 10^{-6} \text{ s)}$$

$$V_{\text{ind}} = 56.840 \times 10^2 \text{ V/s}$$

$$V_{\text{ind}} = 5,684 \text{ kv/ms}$$

#### 4.9. Data Hasil Pengukuran Resistansi Sistem Proteksi Eksternal Menara BTS

Adapun hasil pengukuran resistansi pada sistem proteksi eksternal menara BTS menggunakan alat ukur *Earth Tester* dengan merk *Kyoritsu*. Data hasil pengukuran resistansi sistem proteksi external *Tower* BTS dapat ditunjukkan pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

Tabel 4.9. Data Pengukuran Resistansi Sistem Proteksi External *Air Terminal*, Kabel Penyalur dan Elektroda Plat.

Pengukuran	Resistansi Air Terminal ( $\Omega$ )	Resistansi Kabel Penyalur & Bus Bar Tower ( $\Omega$ )	Resistansi Elektroda Plat Bak Kontrol ( $\Omega$ )
Pengukuran ke-1	0,75	0,67	0,24
Pengukuran ke-2	0,70	0,65	0,26
Pengukuran ke-3	0,73	0,60	0,3
Pengukuran ke-4	0,70	0,60	0,23
Pengukuran ke-5	0,72	0,62	0,24

Tabel 4.10. Data Pengukuran Resistansi Sistem Pentahanan pada Stick Rod

Stick Rod	Resistansi Titik A ( $\Omega$ )	Resistansi Titik B ( $\Omega$ )	Resistansi Titik C ( $\Omega$ )	Resistansi Titik D ( $\Omega$ )	Resistansi Titik E ( $\Omega$ )	Resistansi Titik F ( $\Omega$ )
Pengukuran ke-1	0,20	0,21	0,25	0,23	0,23	0,25
Pengukuran ke-2	0,20	0,20	0,24	0,20	0,22	0,22
Pengukuran ke-3	0,25	0,24	0,20	0,21	0,20	0,21
Pengukuran ke-4	0,23	0,25	0,25	0,22	0,23	0,24
Pengukuran ke-5	0,22	0,24	0,24	0,25	0,26	0,25

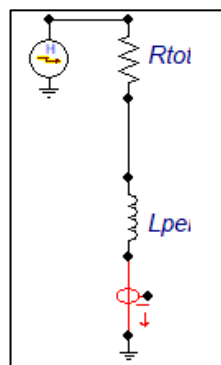
#### 4.10. Simulasi dengan ATP Draw

Pemodelan menggunakan *software ATP draw* yang dilanjutkan dengan proses (run). Adapun data dari hasil simulasi adalah besarnya arus yang terdistribusi ke masing-masing saluran pada sistem proteksi eksternal. Pemodelan pada sistem proteksi eksternal pada menara telekomunikasi terbagi atas 2, yaitu : Model Saluran Daya dan Model Transformator Tegangan Menengah Rendah. Beberapa komponen yang akan dimodelkan pada pemodelan sistem proteksi eksternal menara telekomunikasi antara lain adalah :

1. Surja Petir
2. Air Teminal dan konduktor penyalur
3. Arrester/ SPDs
4. Sistem pentanahan
5. Peralatan Radio

##### 4.10.1. Pemodelan Saluran Daya

Pada pemodelan saluran daya menggambarkan sistem proteksi eksternal yang dimulai dengan air terminal dan kabel penyalur. *Air terminal* sebagai alat proteksi yang berfungsi sebagai tameng ataupun pelindung dan bagian yang termudah untuk disambar petir. Sedangkan kabel penyalur merupakan konduktor penghubung ke tanah yang berfungsi menyalurkan arus surja petir yang ditangkap oleh air terminal tanpa adanya loncatan listrik ke bangunan ataupun manusia. Pemodelan ini digambarkan dengan tahanan dan induktor yang terhubung secara seri seperti gambar 4.4.



Gambar 4.4. Pemodelan Saluran Daya



Keterangan :

$R_{total} = 0.62 \Omega$  (Air Terminal + Kabel Penyalur)

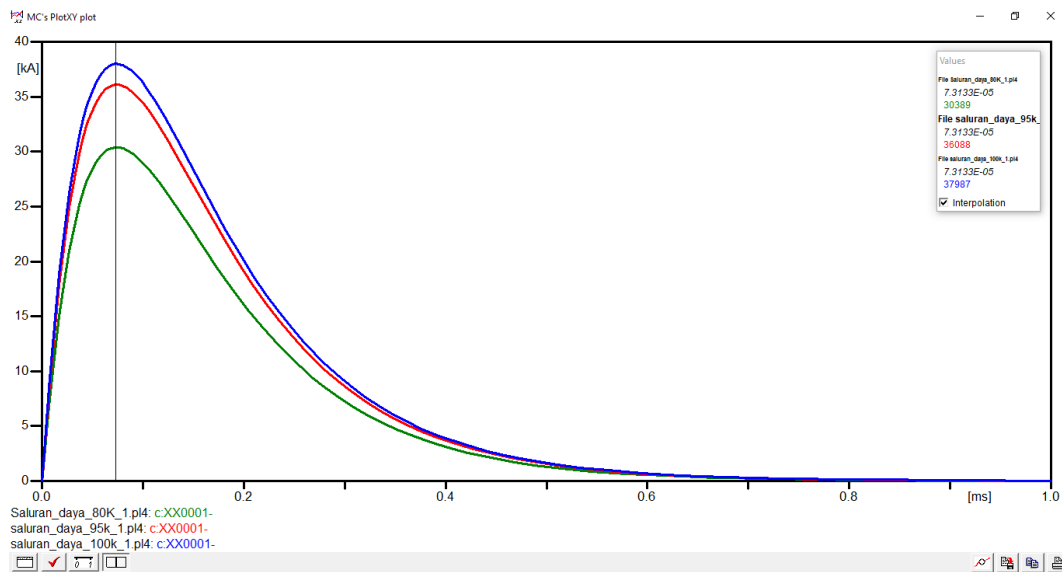
L Penyalur = 71.05  $\mu$ H]

Arus Surja Petir = 80 kA; 95 kA; 100 kA

Tabel 4.11. Arus Distribusi pada Saluran Daya

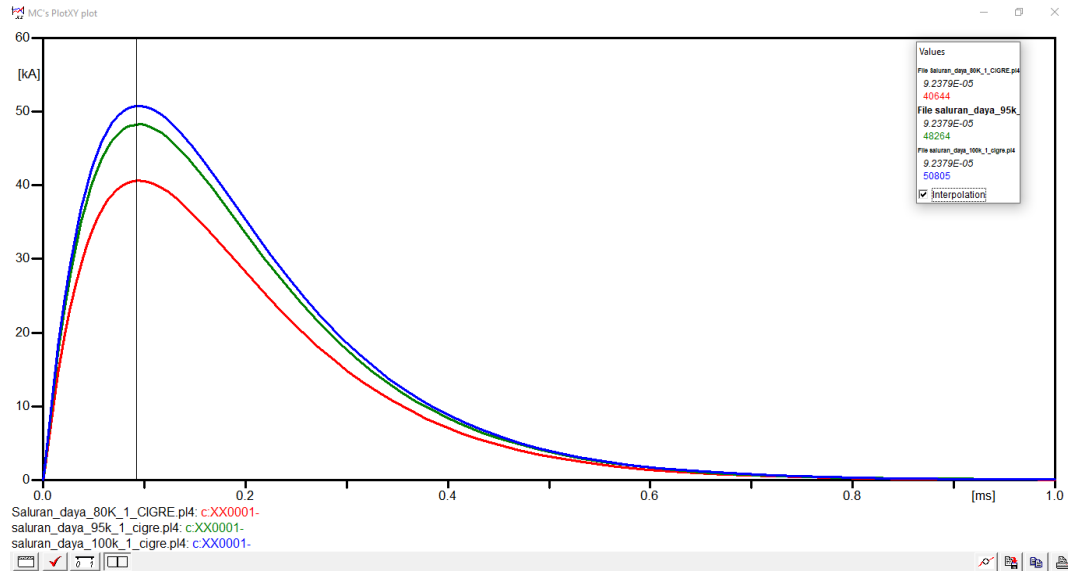
Arus Surja Petir (kA)	Arus pada Saluran Daya ( $I_{dy}$ ) Standard IEC (Ampere)	Arus pada Saluran Daya ( $I_{dy}$ ) Standard CIGRE (Ampere)
80	30389	40644
95	36088	48264
100	37987	50805

Bentuk puncak gelombang arus surja petir yang mengalir pada saluran daya dengan standard IEC ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Hasil Simulasi Arus Surja Petir pada Saluran Daya  
(Standard IEC 1.2 x 50  $\mu$ s)

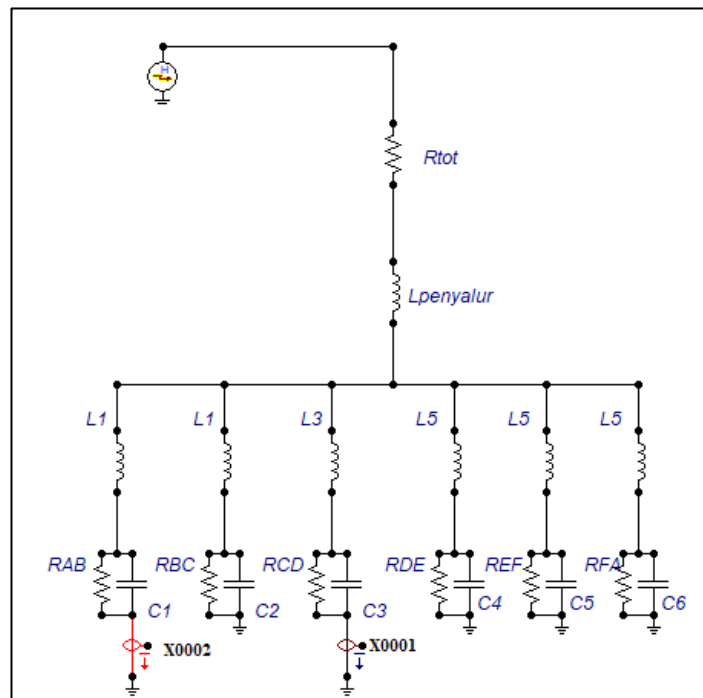
Bentuk puncak gelombang arus surja petir yang mengalir pada saluran daya dengan standard CIGRE ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Hasil Simulasi Arus Surja Petir pada Saluran Daya  
 (Standard CIGRE  $3.3 \times 77.5 \mu\text{s}$ )

#### 4.10.2. Pemodelan Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan digunakan sistem driven tiga rod yang dimodelkan sesuai dengan pemasangan sistem pentanahan pada menara telekomunikasi. Pada menara telekomunikasi terdapat sistem 6 driven rod yang dipasang secara paralel dan dengan jarak yang sesuai dengan gambar 4.7. Pemodelan digambarkan dengan rangkaian R, L dan C pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Pemodelan Saluran Pentanahan

Keterangan :

$$C = 94 \times 10^{-12} \text{ pF}$$

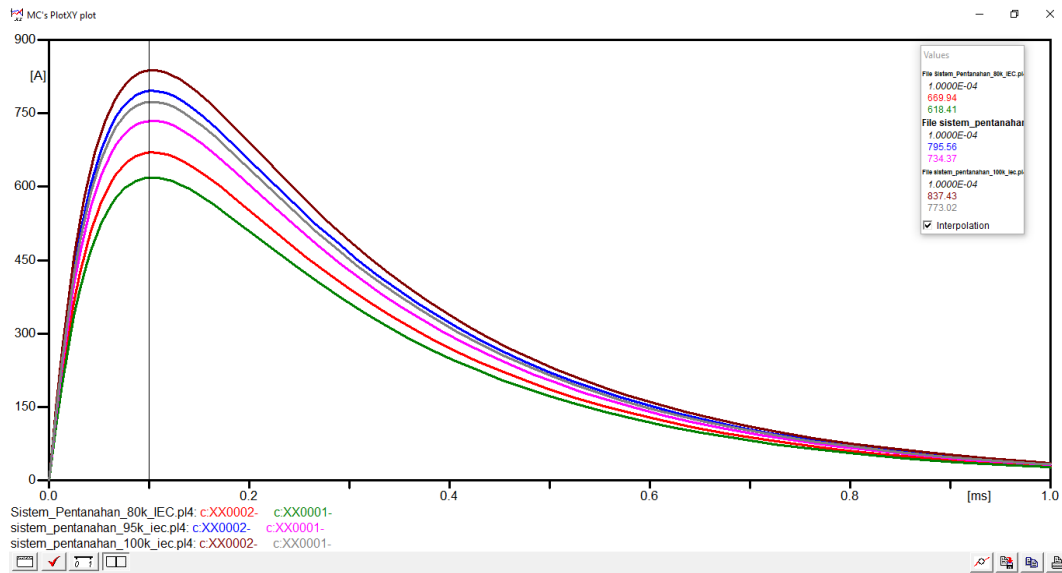
$$L_{\text{rod}} = 4,254 \text{ } \mu\text{H.}$$

$$R_{\text{total}} = 0.484 \text{ } \Omega$$

Tabel 4.12. Arus Distribusi pada Saluran Pentanahan

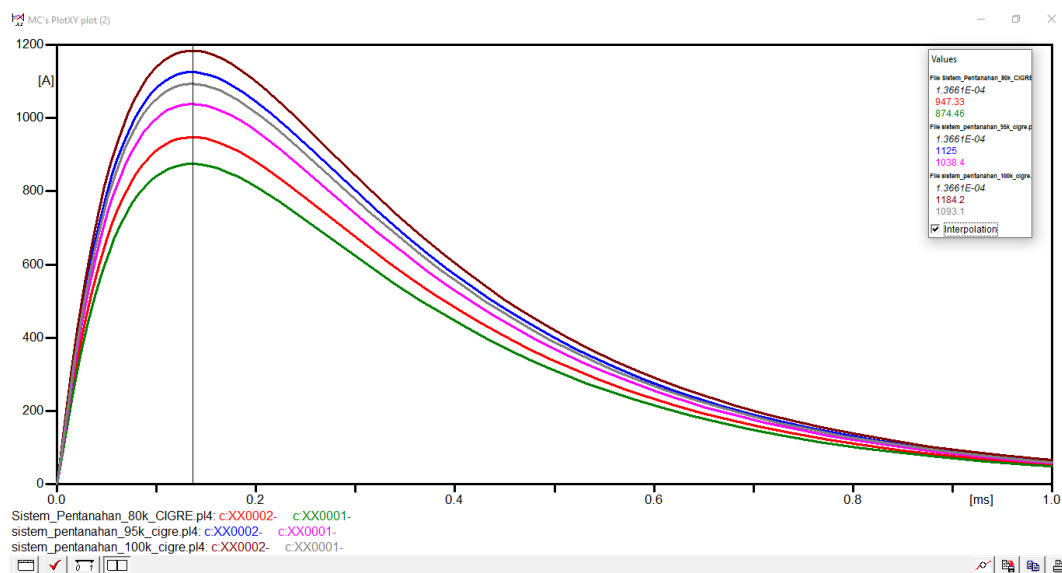
Arus Surja Petir (kA)	Arus pada Saluran Pentanahan ( $I_{\text{pen}}$ ) Standard IEC (Ampere)	Arus pada Saluran Pentanahan ( $I_{\text{pen}}$ ) Standard CIGRE (Ampere)
80	X0001 = 618.94 X0002 = 669.41	X0001 = 874.46 X0002 = 947.33
95	X0001 = 734.56 X0002 = 795.56	X0001 = 1038.4 X0002 = 1125
100	X0001 = 773.02 X0002 = 837.43	X0001 = 1093.1 X0002 = 1184.2

Bentuk puncak gelombang arus surja petir yang mengalir pada saluran pentanahan dengan standard IEC ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. Hasil Simulasi Arus Surja Petir pada Saluran Pentanahan  
(Standard IEC 1.2 x 50  $\mu$ s)

Bentuk puncak gelombang arus surja petir yang mengalir pada saluran pentanahan dengan standard IEC ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9. Hasil Simulasi Arus Surja Petir pada Saluran Pentanahan  
(Standard IEC 3.3 x 77.5  $\mu$ s)

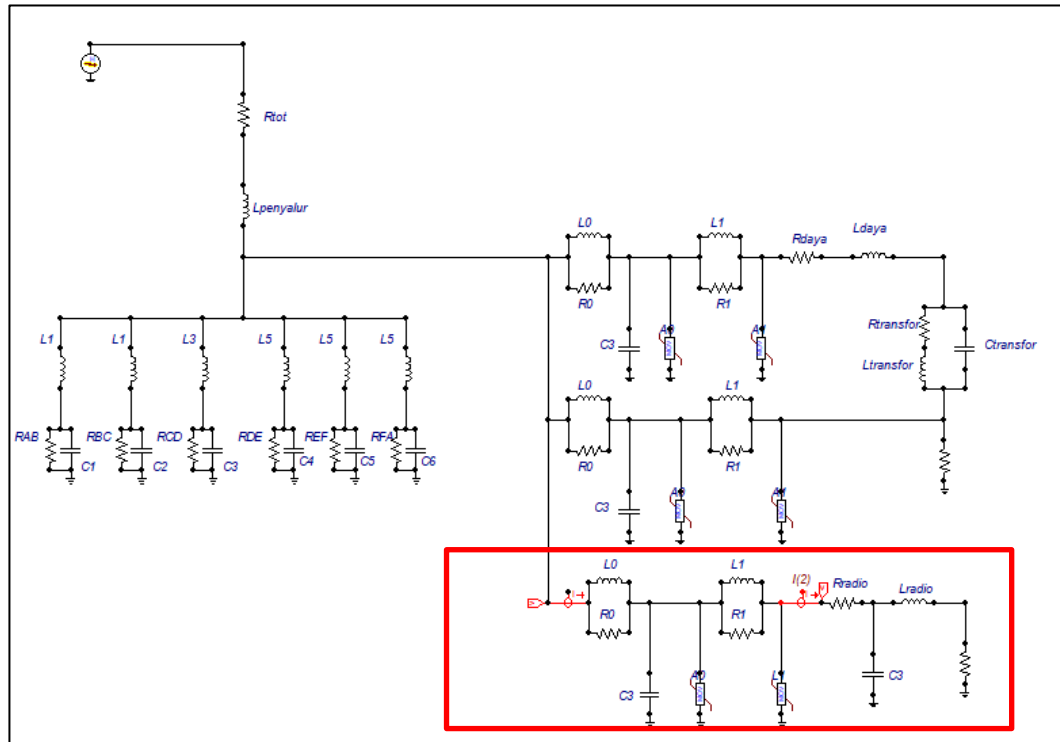
#### 4.11. Arrester sebagai Proteksi Internal Perangkat Telekomunikasi

Arrester digunakan sebagai alat proteksi internal pemotong surja petir atau yang dikenal dengan (*Surge Protective Devices*). *Surge Protective Devices* (SPDs) dapat dikategorikan menjadi *arrester* arus petir yang dapat memberikan proteksi terhadap muatan listrik. *Arrester* SPDs dihubungkan diantara sumber tenaga (*Power* PLN) dan peralatan yang diproteksi. Komponen SPDs terdiri dari kapasitor dan resistor yang cukup besar guna untuk menahan dan mengaihkan pulsa elektrik yang dapat merusak peralatan radio pada lokasi *tower* telekomunikasi. Adapun pemodelan SPDs yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan karakteristik arrester yang diajukan IEEE W.G 4.11 tahun 1992 yang ditunjukkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13. Karakteristik *Arrester* ZnO

A <sub>0</sub>		A <sub>1</sub>	
I (A)	V (kV)	I (A)	V (kV)
100	238.70	100	190.50
1000	260.4	1000	210.80
2000	269.7	2000	221.65
4000	279	4000	229.40
6000	282.1	6000	232.5
10000	294.5	10000	240.25
16000	310	16000	246.45
20000	325.5	20000	249.55

Pada pemodelan untuk sistem proteksi internal pada perangkat radio BTS yang dilengkapi dengan arrester SPDs, ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Pemodelan Saluran Radio

Dari hasil simulasi yang ditampilkan dari tabel dan grafik, terlihat besarnya nilai arus surja maksimum yang terdistribusi pada masing-masing saluran berbeda-beda bergantung dari arus surja yang diinjeksikan. Semakin besar nilai arus surja yang diinjeksikan maka akan semakin besar pula nilai arus distribusinya. Perubahan waktu muka dan waktu ekor juga sangat berpengaruh terhadap besarnya arus surja maksimum pada masing-masing saluran. Pada saluran radio semakin besar waktu muka dan waktu ekor gelombang, maka akan semakin besar pula arus yang mengalir pada saluran radio. Hal ini dikarenakan pada saluran radio terdapat arrester, dimana pada kondisi normal arrester berfungsi sebagai isolator dengan impedansi yang besar. Ketika timbul arus surja, maka *arrester* berfungsi sebagai konduktor dengan impedansi yang kecil. Perubahan *arrester* dari isolator menjadi konduktor ini memerlukan waktu, sehingga apabila arus surja datang dengan

waktu muka dan waktu ekor yang besar maka impedansi arrester akan semakin kecil dan akan menyebabkan arus yang dilewatkan arrester semakin besar. Jenis arrester yang digunakan pada menara telekomunikasi adalah Phoenix Contact dengan jenis FLT-CP-N/PE-350-ST untuk arus surja petir 100 kA[24]. Spesifikasi dari arrester yang digunakan ditunjukkan pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Spesifikasi Arrester pada perangkat BTS

Tegangan Pengenal Arrester (Uc)	350 V AC
Protection Level (Up/Tp)	1.5 kV
Faktor Perlindungan Arrester (Fp)	30%

Menentukan nilai BIL peralatan telekomunikasi dapat ditentukan dengan persamaan 2.14.

$$\text{Faktor Perlindungan (F}_p\text{)} = \frac{\text{BIL peralatan} - \text{TP Arrester}}{\text{BIL Peralatan}} \times 100\%$$

BIL Peralatan = 2.14 kV.

Berdasarkan nilai BIL diatas, didapatkan nilai tegangan maksimum yang bisa diproteksi oleh arrester adalah sebesar 2.14 kV. Pada tabel 4.15 dapat ditunjukkan nilai arus dan tegangan pada pemodelan saluran radio yang diberikan nilai arus petir sebesar 80 kA, 95 kA dan 100 kA.

Tabel 4.15. Nilai Arus dan Tegangan pada Pemodelan Saluran Radio Sebelum dan Sesudah Pemasangan *Arrester*

Arus Surja Petir (kA)	Before Use Arrester				After Use Arrester			
	CIGRE		IEC		CIGRE		IEC	
	I (Ampere)	V (Volt)	I (Ampere)	V (Volt)	I (Ampere)	V (Volt)	I (Ampere)	V (Volt)
80	2172.8	1469.1	1428.3	1077.6	125.83	188.83	125.17	188.15
95	2593.5	1703.6	1708.5	1237.9	126.33	189.89	125.5	188.62
100	2730.7	1781.1	1802.8	1291.4	126.43	190.02	12.6	188.77

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. KESIMPULAN

Dari uraian dasar teori, data hasil pengukuran, data dari hasil perhitungan dan simulasi pemodelan pada sistem proteksi eksternal pada menara ataupun tower BTS dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan analisis resiko, menara BTS yang memiliki ketinggian 72 meter yang terletak di MSC Mabar memiliki peluang tersambar petir  $Nd = 3,814921$  /tahun. Dengan nilai efisiensi SPP sebesar = 0.84 atau 84 %, sehingga menara BTS memerlukan tingkat SPP minimum berada pada Level Proteksi Petir IV dengan nilai arus petir maksimum 100 kA. Adapun jarak sambar arus petir mencapai 223,124 meter dengan luas perlindungan sebesar 86.525,84 m<sup>2</sup>. Adapun radius proteksi bola bergulir  $R_1 = 166$  meter yang diukur dari titik nol menara BTS dan  $R_2 = 93,83$  meter yang diukur dari batas akhir  $R_1$  . Adapun sudut perlindungan dari Air terminal adalah  $\alpha = 71,26^\circ$
2. Pemodelan saluran daya dengan Standard *IEC 62305* (1.2 x 50  $\mu$ s) menunjukkan hasil simulasi gelombang arus surja petir sebesar 30389 Ampere untuk arus masukan surja petir sebesar 80 kA, 36088 Ampere untuk arus masukan surja petir sebesar 95 kA, dan 37987 Ampere untuk arus masukan surja petir sebesar 100 kA. Sedangkan untuk pemodelan saluran daya dengan standard *CIGRE* (3.3x77.5 $\mu$ s) menunjukkan hasil simulasi gelombang arus surja petir sebesar 40644 Ampere untuk arus



masukan surja petir sebesar 80 kA, 48264 Ampere untuk arus masukan surja petir sebesar 95 kA, dan 50805 Ampere untuk arus masukan surja petir sebesar 100 kA.

3. Pentanahan digunakan sistem driven enam rod yang dimodelkan sesuai dengan pemasangan sistem pentanahan pada menara telekomunikasi. Pada menara telekomunikasi terdapat sistem 6 driven rod yang dipasang secara paralel dan dengan jarak sesuai dengan gambar 4.7. Hasil Simulasi Arus Surja Petir pada Saluran Pentanahan dengan standar *IEC 62305* ( $1.2 \times 50 \mu\text{s}$ ) menunjukkan hasil simulasi gelombang arus surja petir sebesar 618.94 Ampere dan 669.41 Ampere untuk arus masukan surja petir sebesar 80 kA. Untuk arus masukan surja petir sebesar 95 kA menghasilkan simulasi arus surja petir sebesar 734.56 Ampere dan 795.56 Ampere Arus masukan surja petir sebesar 100 kA menghasilkan simulasi arus surja petir sebesar = 773.02 Ampere dan 837.43 Ampere. Sedangkan pemodelan pentanahan enam *driven rod* dengan standar *CIGRE 3.3x77.5 $\mu\text{s}$*  menunjukkan hasil simulasi gelombang arus surja petir sebesar 874.46 Ampere dan 947.33 Ampere untuk arus masukan surja petir sebesar 80 kA, untuk arus masukan surja petir sebesar 95 kA = 1038.4 Ampere dan 1125 Ampere, dan 50805 Ampere, dan arus masukan surja petir sebesar 100 kA menghasilkan gelombang arus surja petir sebesar 1093.1 Ampere dan 1184.2 Ampere. Dan hasil simulai didapatkan hasil arus yang melewati saluran daya dengan arus masukan 80, 90 dan 100 kA dengan waktu muka dan waktu ekor dengan standar *IEC 62305* mengalami penurunan arus

sebesar 66,55%. Sedangkan untuk standar *CIGRE* mengalami penurunan arus sebesar 56,001%. Dari hasil simulasi juga didapatkan nilai pada saluran pentanahan dengan arus masukan 80, 90 dan 100 kA dengan waktu muka dan waktu ekor dengan standar *IEC 62305* mengalami penurunan arus sebesar 99,195%. Sedangkan untuk standar *CIGRE* mengalami penurunan arus sebesar 98,86%.

### **5.1. SARAN**

Sistem proteksi eksternal pada *tower* BTS dipasang sudah memenuhi standard yang telah ditetapkan oleh Standard PUIPP dan *IEC 62305*. Akan tetapi sistem proteksi yang ada, terkadang tidak dimonitor dengan baik terkait adanya permasalahan kehilangan kabel grounding di lokasi BTS, adanya korosi pada sistem grounding dan lain sebagainya. Sehingga dalam hal ini, pihak perusahaan harus menetapkan schedule rutin untuk pemeliharaan dan perawatan sistem proteksi supaya dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Dan untuk keluhan warga yang menyatakan terkena dampak dari sambaran petir karena adanya pengaruh *tower* BTS, sejauh penelitian ini dilakukan tidak adanya indikasi efek dari *tower* BTS terhadap pemukiman warga yang berada pada radius 100 meter yang seharusnya sudah terlindungi oleh sistem proteksi eksternal dengan adanya perlindungan dari *air terminal* dan sistem pentanahan yang sudah memenuhi standard. Dalam hal ini yang harus dilakukan oleh warga setemoat adalah dengan memasang alat proteksi pribadi untuk melindungi peralatan elektronik di rumah masing-masing supaya terhindar dari sambaran petir secara langsung.

## DAFTAR PUSTAKA

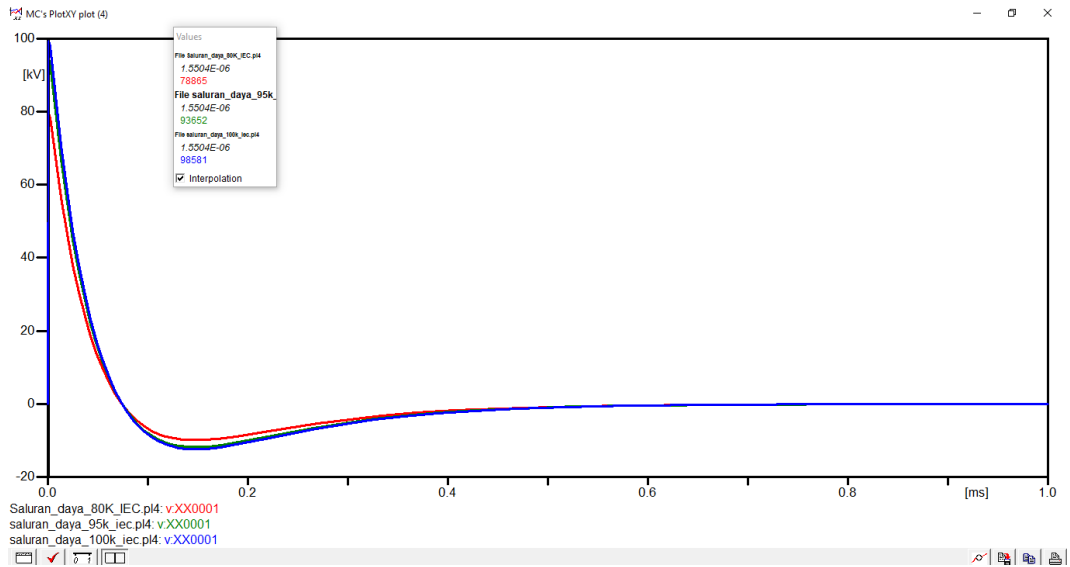
- [1] D. Permata and N. Purwasih, “Pengaruh Sambaran Petir Terhadap Sistem Proteksi pada Tower BTS (Base Transceiver Station),” *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 96–108, 2009.
- [9] Golde, R. H. *Lightning*. Volume 2. London : Academic Press Inc, 1981.
- [10] Zoro, R [2018], “*Sistem Proteksi Petir Pada Sistem Tenaga Listrik*”, Penerbit Erlangga, Jakarta
- [11] -“*PUIPP untuk bangunan Indonesia Direktorat Penyelidikan masalah bangunan departemen pekerjaan umum 1983*]
- [12] T.S Hutaeruk [1991], “*Pengetanahan Netral Sistem tenaga & Pengetanahan Peralatan*”, Penerbit Erlangga Jakarta.
- [13] Priker, L, & Hoodalen, K,H, 2009, *ATPDRAW version 5.5 for Windows 9x/NT/2000/xp/Vista*. NTNU, Norway
- [14] Dommel, H.W, 1996. “*Elektromagnetic Transient Program*”, Vancouver, Kanada
- [15] Michal, Jaroslaw W, 2012, “*New MOV Model With Hysteris Loop In Programm ATP/ EMTP*”, Technical University of Bialsyok, Polan
- [16] Xue, Haoyan, (2011), *Analysis of Switching Transient Overvoltage in the Power System of Floating Production Storage and Offloading Vessel, Master of Science Thesis, Faculty of Elektrical Engineering, Mathematic and Computer Science, Delft University of Technology*.
- [17] Gonen, Turan, 1998, “*Electric Power Transmission System Engineering*”, John Wiley & Sons, USA
- [18] Zoro,Reynaldo, “*Tropical Lightning Current Parameters and Protection Transmission Lines*” ITB, Bandung
- [19] Zoro,Reynaldo, “*Induksi dan Konduksi Gelombang Elektromagnetik Akibat Sambaran Petir pada Jaringan Tegangan Rendah*, ITB, Bandung
- [20] Rakotmolo A, et al, 1994, “*Lightning Distribution Through Earthing System*”, IEEE Trans Power Appar, And Syst, pp 419-423
- [21] Samsulbahri, “*Konsep Dasar Telekomunikasi Selular*”, 2009

- [22] D. Permata and N. Purwasih, "Pengaruh Sambaran Petir Terhadap Sistem Proteksi pada Tower BTS (Base Transceiver Station)," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 96–108, 2009.
- [25] Y. Zhang *et al.*, "Study on Spatial-Temporal Distribution Characteristics of the Discharge Process in a 1 m Rod-Plate Gap under Different Polarity Lightning Impulses," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 111396–111410, 2019
- [26] A. Gomes, M. Z. A. A. Kadir, and C. Gomes, "Surge Protective Device for Compact Structures," *34th Int. Conf. Light. Prot.*, 2018.
- [27] M. M. Rahman, M. F. Hossain, A. B. M. A. Hossain, and M. O. Goni, "Lightning surge analysis on vertical tower using Electromagnetic Transient Program (EMTP)," *Proc. 4th Int. Conf. Electr. Comput. Eng. ICECE 2006*, no. December, pp. 17–20, 2006.
- [28] I. A. Metwally and F. H. Heidler, "Lightning transients in low-voltage installations inside different types of class II lightning protection systems," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 24, no. 2, pp. 930–938, 2009.
- [29] D. Fhi, R. Bibmeier, P. C. Gmbh, and C. K. C. G. Blomberg, "Lightning and Surge Voltage Protection in Mobile Phone Stations- Practical Experiences with a German Operator concept Sure protective devices Demands on SPDs," pp. 3–6
- [30] B. Ashdown, N. Korbel, and T. Scott, "Interface specifications for protection and grounding in wireless base stations," *INTELEC, Int. Telecommun. Energy Conf.*, pp. 359–367, 1997
- [31] H. Chen, Y. Zhang, Y. Du, and Q. S. Cheng, "Lightning Transient Analysis of Telecommunication System with a Tubular Tower," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 60088–60099, 2018.
- [32] P. N. Mikropoulos and T. E. Tsovilis, "Estimation of Lightning Incidence to Telecommunication Towers," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 61, no. 6, pp. 1793–1802, 2019.
- [33] P. Systems and C. Committee, "IEEE Recommended Practice for the Protection of Wire-Line Communication Facilities Serving Electric Supply Locations", vol. 2000, no. August 2001. 2007
- [34] A. Beutel and J. Van Coller, "Surge protection of low voltage power systems for cellular telecommunication sites," *2003 IEEE Bol. PowerTech - Conf. Proc.*, vol. 2, pp. 92–98, 2003

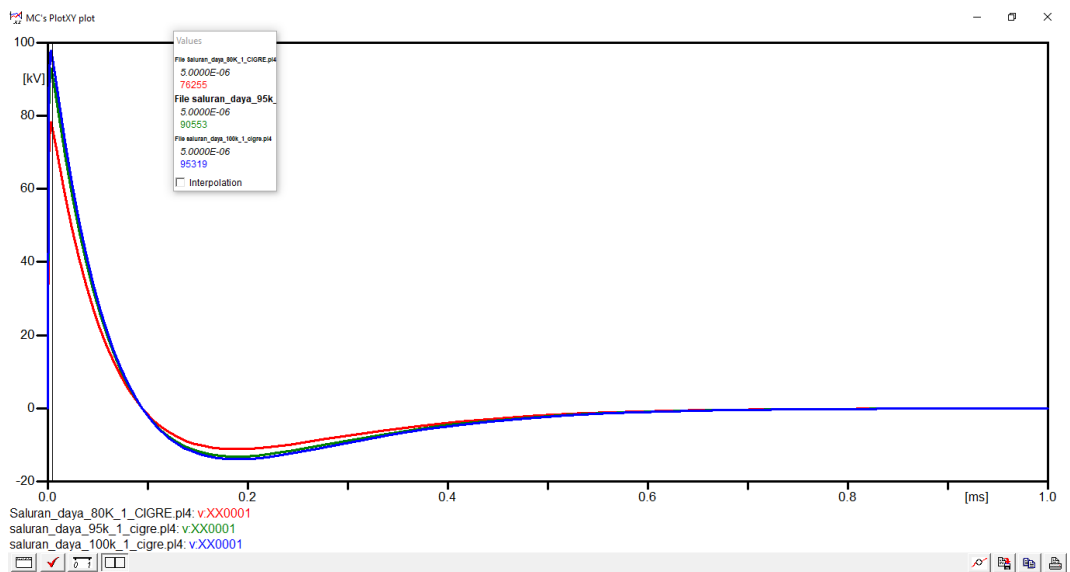
- [35] M. Z. Islam and M. S. U. Yusuf, “*ATP analysis of direct lightning strike on a telecommunication tower suited over multistoriec building,*” *ECCE 2017 - Int. Conf. Electr. Comput. Commun. Eng.*, pp. 387–391, 2017
- [36] D. Suwarti, “*Dampak Pemberian Impuls Tegangan Berulang,*” *Semin. Nas.*, pp. 59–65.
- [37] D. Permata and N. Purwasih, “Pengaruh Sambaran Petir Terhadap Sistem Proteksi pada Tower BTS (Base Transceiver Station),” *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 96–108, 2009.

## LAMPIRAN

### Saluran Daya (Standard IEC)

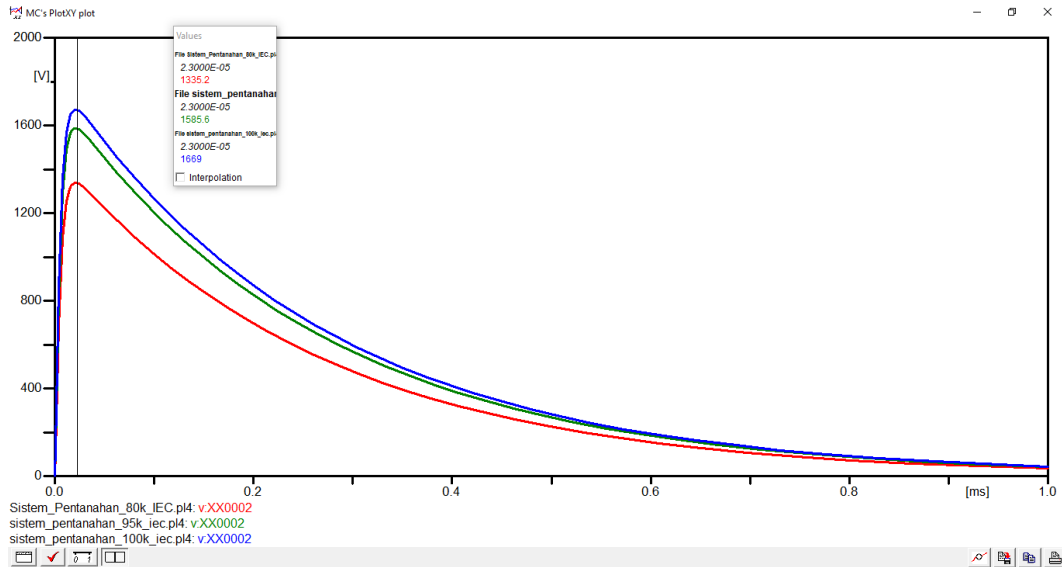


### Saluran Daya (Standard CIGRE)

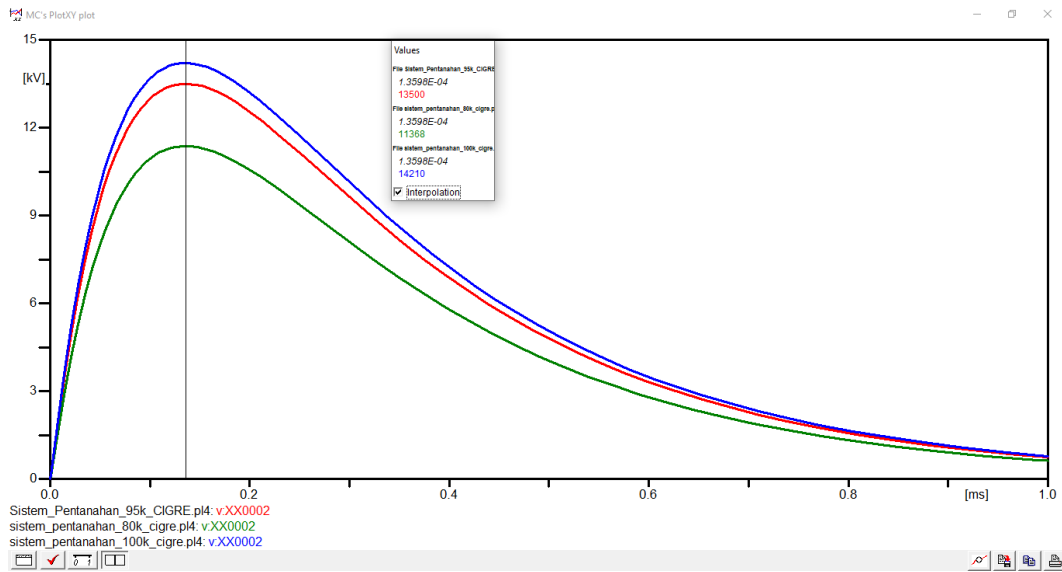


Arus Petir	Nilai Tegangan pada Saluran Daya ( $V_{dy}$ ) Standard IEC (Volt)	Nilai Tegangan pada Saluran Daya ( $V_{dy}$ ) Standard CIGRE (Volt)
80 kA	78865	76255
95 kA	93652	90553
100 kA	98581	95319

### Saluran Pentanahan (Standard IEC)



### Saluran Pentanahan (Standard CIGRE)



Arus Petir	Nilai Tegangan pada Saluran Pentanahan ( $V_{tnh}$ ) Standard IEC (Volt)	Nilai Tegangan pada Saluran Daya ( $V_{tnh}$ ) Standard CIGRE (Volt)
80 kA	1335.2	11368
95 kA	1585.6	13500
100 kA	1669	14210