

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK (S-1)**



**ANALISIS ARUS GANGGUAN KILAT  
TERHADAP PENTANAHAN KAKI MENARA  
TRANSMISI 150 KV DENGAN METODE PENTANAHAN  
COUNTERPOISE, ROD DAN GABUNGAN**

**SKRIPSI**

*Disusun Oleh :*

**M. ALI TAJUS SYAROF  
00.12.143**

**MARET 2006**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### ANALISIS ARUS GANGGUAN KILAT TERHADAP PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI 150 KV DENGAN METODE PENTANAHAN COUNTERPOISE, ROD DAN GABUNGAN

### SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat  
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

**Disusun Oleh :**

**M. ALI TAJUS SYAROF**  
**NIM. 00.12.143**



**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro**  
**Ir. F. Yudi Limpraptono, MT**  
**NIP.Y.103 950 0274**

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing**



**Ir. Teguh Herbasuki, MT**  
**NIP.103 8900 209**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

## LEMBAR PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan pencipta alam semesta ini, Yang memiliki segalanya, Yang selalu menemaniku dan melindungiku, karena hanya kepadaNyaalah semua bermuara. Aku bersyukur sekali Ya Allah apa yang aku inginkan selalu engkau ridhoi. Cinta, hidup dan matiku hanya untukMu Ya Allah Ya Rabbi. I'm Nothing, God is Everything.

Skripsi ini kupersembahkan sebagai tanda cinta kasih dan bhaktiku kepada Ayahanda tercinta, Ibundaku tercinta dan adik-adikku tersayang. Terima kasih sebanyak-banyaknya atas support dan dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini dan doa yang selalu terucap untukku dan melecutku untuk selalu berusaha pantang menyerah.

X. Bapak, Ibuku, engkau sosok orang tua yang penuh kekuatan yang selalu kusayang dan kibanggakan. Ibu, matursuwun sangat telah mendidikku dengan penuh kasih sayang yang telah mengorbankan semuanya buat aku, yang selalu berdoa buat aku siang dan malam. Maafkan semua kesalahanmu bu, bapak, .... akan kusakukan semua yang terbaik untuk bapak ibu. Sekali lagi terima kasih banyak untuk adik-adikku yang sangat aku sayangi, Anik, Oni, terima kasih atas doanya ya.... kakak sangat mencintai kalian.

X. Keluarga Bapak Endro dan Bu Uut. Matursuwun sangat telah memberi saya seseorang yang membuat hidup saya sangat berarti. Aku selalu berdoa.....

X. Buat sahabat-sahabatku "Perpisahan selalu menyakitkan", Zuky (pak Kost, jasamu takkan pernah kusupakan kawan, maafkan aku yang selalu berbuat salah dan tidak bisa menjadi kawan yang baik kapan nih kita ke Balikpapan hehehehe....), Rio "Sang Juara" (kenang-kenangan di Pandaan sungguh mengasyikkan eek hehehe....), Suntoro "Lek Toro" (jadi orang Kepanjen memang menyenangkan, jangan kufur nikmat Lek hehehe.....), Surya "Qorum" (namamu spesial sekali buat kamu kawan karena hanya kita yang tahu hehe...), Bang Aris "Baba" (pengorbanan kita tidak sia-sia pun.... banyak sekali kenangannya), Choolnam (April 2006 Bidan Maria), Handoko "Bang Dokg", Tony, Agus "Gajah", Kukuh, Kenthang, Wafyu Blitar, Andrew "Thole" (Anto dan semua anak Kost un Poharin), Andil, Ali Rahman, Harry, Asik, Ami, Tini, Dodik, "Chameouk", Falimi, Pa' Oke, Jolian, Widya, Sonny dan semua sahabat-sahabatku yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan dan bantuanmu selama ini. Wassalamualaikum Wr. Wh

## ABSTRAKSI

# ANALISIS ARUS GANGGUAN KILAT TERHADAP PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI 150 kV DENGAN METODE PENTANAHAN COUNTERPOISE, ROD DAN GABUNGAN

( M. Ali Tajus Syarof, 00.12.143, Teknik Elektro Energi Listrik, 2006 )  
( Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT )

**Kata Kunci :** *Counterpoise, Rod, Gabungan Counterpoise Rod, Menara SUTT, Arus Gangguan Kilat, Probabilitas Kilat*

Dalam merencanakan pentanahan kaki menara (*tower*) pada umumnya, hal utama yang harus diperhatikan adalah tahanan jenis tanah dari lokasi *tower* tersebut didirikan. Tahanan jenis tanah dapat diturunkan dengan mengatur kondisi kimia tanah yaitu dengan penambahan kadar garam pada tanah atau dengan pemberian *bentonite* (tanah liat) pada daerah sekitar *tower* seperti yang dilakukan PLN. Besarnya gangguan kilat yang terjadi pada tower antara G.I Sengkaling – Kebonagung berdasarkan data-data IKL di BMG Karang Poso sebesar 275 kilat per tahun dan dapat diketahui besarnya gangguan kilat yang terjadi pada menara-menara tersebut yaitu  $N_0 = 83,6067$  gangguan per tahun.

Hal ini menuntut PLN untuk membuat sistem pentanahan yang tepat pada kaki menara agar tidak terjadi *flashover* pada isolator dan mengurangi arus gangguan kilat yang menuju Gardu Induk. Pada segi ekonomis penggunaan elektroda batang / Rod yang panjang akan menyebabkan besarnya biaya pembangunan tower karena mahalnya batang elektroda. Tetapi dapat diatasi dengan Counterpoise yang lebih murah karena menggunakan kawat BC.

Perhitungan terhadap pembagian arus gangguan kilat total 60000 Ampere yang terdistribusi melalui kawat tanah ke masing-masing menara yang terhubung ke pentanahan kaki menara dan arus yang menuju ke Gardu Induk yang terdekat dari pusat gangguan dapat diperoleh bahwa dengan pentanahan Rod dengan  $R = 2,5494 \Omega$  didapat  $I_f$  (arus yang melalui jaringan kawat tanah dan kaki menara) = 6955,2 A dan  $I_k$  (arus yang menuju Gardu Induk) = 53044,8 A. Dengan pentanahan Counterpoise dengan  $R = 1,9219 \Omega$  didapatkan  $I_f = 7872$  A dan  $I_k = 52128$  A sedangkan dengan pentanahan Gabungan didapatkan  $R = 1,0958 \Omega$ ,  $I_f = 9999,7$  A dan  $I_k = 50000,3$  A. Sehingga Counterpoise dapat mengurangi besarnya arus gangguan ke Gardu Induk sedangkan pengurangan arus gangguan ke Gardu Induk karena pentanahan Gabungan lebih besar dari Counterpoise.

## **KATA PENGANTAR**

Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT karena hanya dengan lindungan, rahmat dan karuniaNya-lah penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini, sebagai syarat untuk melengkapi dan memenuhi syarat mencapai gelar sarjana.

Skripsi yang berjudul "**ANALISIS ARUS GANGGUAN KILAT TERHADAP PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI 150 KV DENGAN METODE PENTANAHAN COUNTERPOISE, ROD DAN GABUNGAN**" ini tersusun juga atas bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu maka penulis merasa sangat perlu menghaturkan terima kasih kepada :

1. Bapak DR. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. I Made Wartana, MT selaku Pembantu Dekan 1 Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Energi Listrik S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.
5. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk sudi membantu dan membimbing penulis.
6. Ayah dan Ibu yang selalu memberikan dukungan lahir maupun batin kepada penulis.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERSETUJUAN .....	ii
ABSTRAKSI .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GRAFIK .....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Pembahasan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metode Pembahasan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II. PERALATAN PADA MENARA SALURAN	
TRANSMISI 150 kV .....	5
2.1 Karakteristik Umum Saluran Transmisi.....	5
2.2 Perlengkapan Utama Saluran Udara 150 kV.....	7

2.2.1	Menara Transmisi.....	7
2.2.2	Isolator.....	10
2.2.3	Kawat Penghantar (Konduktor).....	11
2.2.3.1	Peralatan Pembantu Kawat Penghantar.....	12
2.2.4	Kawat Tanah ( <i>ground wires</i> ).....	14
2.3	Faktor-faktor Penyebab Gangguan pada Saluran Transmisi....	15
2.3.1	Gangguan Petir Pada Saluran Transmisi.....	17
2.3.2	Proses Terjadinya Petir.....	18
2.5	Karakteristik Tanah.....	20
2.6	Macam-macam Sistem Pentanahan pada Menara .....	21
2.6.1	Sistem Pentanahan Rod (Batang Elektroda) .....	22
2.6.2	Sistem Pentanahan Counterpoise .....	23
2.6.3	Sistem Pentanahan Rod dan Counterpoise (Gabungan).....	25
2.7	Sistem Pentanahan Pada Gardu Induk .....	27

### **BAB III. PROBABILITAS DAN DISTRIBUSI ARUS GANGGUAN**

#### **KILAT MELALUI KAWAT TANAH KE PENTANAHAN**

#### **KAKI MENARA DAN GARDU INDUK.....28**

3.1	Distribusi Arus Gangguan Dari Pusat Menara.....	28
3.2	Distribusi Arus Gangguan Pada Terminal Menara Yang Dihubungkan Dengan Grounding Grid Gardu Induk .....	33
3.3	Impedansi Sendiri Kawat Tanah per satuan panjang .....	34
3.4	Gangguan Kilat .....	36

3.4.2	Penangkapan Kilat pada Saluran Transmisi.....	37
3.4.3	Jumlah Sambaran Kilat ke Bumi.....	38
3.4.4	Menghitung Gangguan Kilat pada Menara .....	39
3.4.4.1	Gangguan Kilat pada Seperempat Jarak dan Setengah Jarak dari Menara Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi.....	39
3.4.4.2	Kegagalan Perisaian.....	41
3.5	Radius Efektif Kawat Tanah dengan Korona.....	42
3.5.1	Impedansi Surja Kawat .....	43
3.6	Sambaran Langsung Pada Menara .....	45

#### **BAB IV. ANALISIS PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI**

150 KV DENGAN METODE COUNTERPOISE, ROD DAN GABUNGAN PADA G.I. SENGKALING – G.I. KEBONAGUNG.....	50	
4.1	Data Saluran Transmisi 150 kV SUTT G.I. Sengkaling Malang.....	50
4.2	Saluran Transmisi 150 KV G.I. Sengkaling – G.I. Kebonagung Dengan Menggunakan Dua Kawat Tanah... 52	52
4.3	Metode Pentanahan Pada Kaki Menara Transmisi 150 kV .....	52
4.4	Perhitungan Luas Bayang-bayang Kawat Tanah .....	53
4.5	Perhitungan Jumlah Sambaran dan Gangguan Kilat pada Menara .....	54
4.5.1	Jumlah Sambaran Kilat .....	54

4.5.2	Gangguan Kilat pada Seperempat Jarak dari Menara .....	55
4.5.3	Gangguan Kilat pada Setengah Jarak dari Menara .....	56
4.5.4	Gangguan Kilat Karena Kegagalan Perisaian.....	56
4.6	Perhitungan Tahanan Kaki Menara.....	57
4.6.1	Perhitungan Dengan Pentanahan Rod .....	57
4.6.2	Perhitungan Dengan Pentanahan Counterpoise .....	59
4.6.3	Perhitungan Dengan Pentanahan Rod dan Counterpoise (Gabungan).....	60
4.7	Perhitungan Tahanan Pada Pentanahan Gardu Induk .....	60
4.8	Menghitung Besar Distribusi Arus Gangguan Bila Terjadi Sambaran Petir Pada Puncak Menara Dekat Gardu Induk Dengan Arus Puncak 60 kA.....	61
4.8.1	Menghitung Distribusi Arus Gangguan Kilat Pada Menara Dekat Gardu Induk Dengan Tahanan Kaki Menara Menggunakan Pentanahan Rod.....	66
4.8.2	Menghitung Distribusi Arus Gangguan Kilat Pada Menara Dekat Gardu Induk Dengan Tahanan Kaki Menara Menggunakan Pentanahan Counterpoise .....	71
4.8.3	Menghitung Distribusi Arus Gangguan Kilat Pada Menara Dekat Gardu Induk Dengan Tahanan Kaki Menara Menggunakan Pentanahan Gabungan (Rod dan Counterpoise) .....	75

<b>BAB V. KESIMPULAN.....</b>	<b>83</b>
5.1    Kesimpulan .....	83
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>85</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
2.1 Macam-macam menara transmisi baja.....	9
2.2 Isolator Gantung .....	11
2.3 Sambungan Penghantar .....	13
2.4 Perentang ( <i>Spacer</i> ) .....	13
2.5 Batang Pelindung .....	14
2.6 Peredam ( <i>Dampers</i> ).....	14
2.7 Pentanahan Rod (batang elektroda).....	23
2.8 Pentanahan Counterpoise .....	25
2.9 Pentanahan Gabungan (rod dan counterpoise).....	26
2.10 Sistem Pengetanahan Gardu Induk .....	26
3.1 Distribusi Arus Gangguan Kilat.....	28
3.2 Distribusi Arus Gangguan Kilat Dekat Gardu Induk .....	34
3.3 Lebar Jalur Perisaian Terhadap Kilat .....	37
3.4 Gambar Potongan Saluran Transmisi.....	44
3.5 Gelombang berjalan pada kawat tanah.....	45
3.6 Suatu kawat diketanahkan dengan tahanan R .....	47
3.7 Gelombang Pantulan Dan Terusan Pada Kawat Tanah .....	48
4.1 Penampang Salah Satu Kaki Menara .....	58
4.2 Counterpoise Pada Salah Satu Kaki Menara.....	59
4.3 Metode Gabungan Pada Salah Satu Kaki Menara.....	60
4.4 Gambar Ekivalen Pentanahan Rod Pada Menara.....	69

4.5 Gambar Diagram Tangga Distribusi Arus Kilat.....	70
4.6 Gambar Ekivalen Pentanahan Counterpoise Pada Menara .....	74
4.7 Gambar Diagram Tangga Distribusi Arus Kilat.....	75
4.8 Gambar Ekivalen Pentanahan Gabungan Pada Menara .....	79
4.9 Gambar Diagram Tangga Distribusi Arus Kilat.....	80

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Nilai Tahanan Spesifik Berbagai Jenis Tanah .....	21
3.1 Hubungan Antara Arus Puncak Kilat Dan Sering Terjadinya .....	42
3.2 Hubungan Antara Waktu untuk Mencapai Puncak dan Seringnya Terjadi .....	42
4.1 Jenis dan ukuran menara .....	52
4.2 Ukuran pentanahan.....	53
4.3 Perbandingan Hasil Perhitungan Pentanahan Tipe Rod, Counterpoise dan Gabungan Pada Kaki Menara.....	81

## DAFTAR GRAFIK

<b>Grafik</b>	<b>Halaman</b>
4.1 Perbandingan Distribusi Arus Kilat menuju G.I (Ik) dengan metode pentanahan Counterpoise, Rod dan Gabungan .....	81
4.2 Perbandingan Distribusi Arus Kilat menuju Jaringan Pentanahan Menara (If').....	82
4.3 Perbandingan Distribusi Arus Kilat menuju Pentanahan Kaki Menara ( $I_0$ ).....	82
4.4 Perbandingan Distribusi Arus Kilat menuju Menara n+1 ( $i_1$ ).....	82

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan sehari-hari. Untuk mendapat penyaluran daya listrik yang handal sehingga konsumen merasa tidak dirugikan maka perlu diadakan usaha-usaha perlindungan terhadap gangguan-gangguan terutama gangguan yang bersifat alami seperti petir. Salah satu usahanya adalah dengan memasang kawat tanah dan memberikan sistem pentanahan yang baik pada menara transmisi, karena sistem pentanahan kunci utama untuk menyalurkan arus petir ke tanah. Saluran transmisi merupakan saluran penghubung antara pusat pembangkit yang satu dengan pusat pembangkit yang lain, antara pembangkit dengan gardu induk atau juga antara gardu induk satu dengan gardu induk lainnya. Pada tegangan 150 kV sangat berbahaya bagi lingkungan sekitarnya apabila pada menara-menara transmisi tersebut timbul tegangan induksi.

Saluran transmisi yang menyalurkan tegangan tinggi 150 kV tersebut sangat memungkinkan terkena sambaran petir. Untuk melindungi maka perlu dipasang kawat tanah yang merupakan perisai dari gangguan petir untuk disalurkan ke tanah melalui menara transmisi. Pembahasan yang akan dilakukan adalah mengenai besarnya arus gangguan kilat yang mengalir ke pentanahan menara dengan metode pentanahan Counterpoise, Rod dan gabungan antara keduanya (Rod dan Counterpoise).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas adalah :

- Berapa besarnya gangguan kilat yang terjadi pada menara transmisi SUTT 150 kV berdasarkan jumlah gangguan kilat dalam satu tahun.
- Berapa besarnya arus gangguan kilat yang mengalir ke pentanahan menara transmisi dan Gardu Induk dengan metode pentanahan Rod (batang elektroda), Counterpoise dan gabungan (Rod dan Counterpoise).
- Metode pentanahan apa yang mempunyai tahanan pentanahan kaki menara yang paling rendah.

Dalam perhitungan ini akan dibantu dengan menggunakan Program Matlab sebagai penghitung dengan mengambil data dari saluran transmisi 150 kv. Berdasarkan permasalahan diatas, kita bisa memperhitungkan pentanahan yang tepat pada menara transmisi 150 kv, sehingga penulis berusaha mengangkat judul "**ANALISIS PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI 150 KV DENGAN METODE PENTANAHAN COUNTERPOISE, ROD DAN GABUNGAN**".

## **1.3. Tujuan Pembahasan**

1. Menentukan jumlah gangguan kilat pada SUTT G.I Sengkaling – Kebonagung per tahun.
2. Menentukan nilai tahanan pentanahan kaki menara transmisi dengan tiga metode pentanahan yang berbeda yaitu Counterpoise, Rod dan Gabungan dengan menggunakan empat elektroda pentanahan.

3. Menghitung besar arus gangguan kilat yang mengalir pada jaringan pentanahan menara transmisi dan arus gangguan kilat yang didistribusikan ke Gardu Induk dengan tiga metode pentanahan yang berbeda pada menara transmisi yang terdekat dengan Gardu Induk Sengkaling.
4. Menentukan sistem pentanahan yang tepat yang dapat digunakan pada kaki menara transmisi.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Pembatasan masalah sangat diperlukan agar dalam penyelesaiannya tidak menyimpang dari tujuan semula. Untuk mencapai sasaran yang diharapkan, maka pembahasan skripsi ini dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Sistem transmisi yang akan dibahas adalah saluran udara tegangan tinggi 150 kv dengan arus kilat antara 60 – 100 kA.
2. Hanya membahas mengenai arus gangguan kilat ke jaringan pentanahan kaki menara transmisi dengan metode pentanahan Counterpoise, Rod dan Gabungan dengan elektroda pentanahan.
3. Tidak membahas arus gangguan pada kawat fasa dan Gardu Induk.
4. Penelitian dilakukan pada menara antara Gardu Induk Sengkaling dan Kebonagung dengan salah satu menara yang paling dekat dengan Gardu Induk sebagai pusat gangguan kilat.

#### **1.5. Metode Pembahasan**

Metode yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah :

- a. Metode literatur yaitu dengan melalui analisa berdasarkan teori-teori yang terkait dengan literatur yang sesuai.
- b. Memperoleh data di lapangan sebagai acuan dalam melengkapi parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan dan menganalisa masalah.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

BAB I : Merupakan bab pendahuluan yang membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, serta batasan masalah.

BAB II : Pada bab ini akan membahas mengenai perlengkapan dari saluran udara 150 kv, faktor-faktor penyebab gangguan pada saluran transmisi dan gangguan petir pada saluran transmisi dan membahas mengenai sistem pentanahan kaki menara pada saluran transmisi.

BAB III : Akan membahas distribusi arus gangguan kilat dan jumlah gangguan yang disebabkan oleh kilat.

BAB IV : Akan menganalisa tentang besarnya tahanan pentanahan, jumlah gangguan kilat dan besarnya arus gangguan kilat yang mengalir pada jaringan pentanahan menara dan arus gangguan kilat yang mengalir menuju ke Gardu Induk dengan metode pentanahan Counterpoise, Rod dan gabungan dengan menggunakan empat elektroda pentanahan.

BAB V : Kesimpulan.

## BAB II

### PERALATAN PADA MENARA SALURAN TRANSMISI 150 KV

#### 2.1. Karakteristik Umum Saluran Transmisi<sup>[2]</sup>

Tenaga listrik dibangkitkan di pusat-pusat listrik tenaga, seperti tenaga air (PLTA), tenaga uap (PLTU), tenaga panas bumi (PLTP), tenaga gas (PLTG), tenaga diesel (PLTD), tenaga nuklir (PLTN) dan lain sebagainya. Pusat-pusat tenaga listrik itu, terutama yang menggunakan tenaga air (PLTA), umumnya terletak jauh dari tempat-tempat dimana tenaga listrik itu digunakan atau pusat-pusat beban. Karena itu tenaga listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui kawat-kawat atau saluran transmisi. Saluran-saluran ini membawa tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkit listrik ke pusat-pusat beban baik secara langsung maupun melalui saluran-saluran penghubung dan gardu-gardu induk (*substation*). Dengan tingginya tegangan, tingkat isolasi pun harus lebih tinggi, dengan demikian biaya peralatan juga tinggi. Penurunan tegangan dari tingkat tegangan transmisi pertama-tama dilakukan pada gardu induk (GI), dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah, misalnya dari tegangan 500 kV ke tegangan 150 kV atau dari tegangan 150 kV ke tegangan 70 kV. Kemudian penurunan kedua dilakukan pada gardu distribusi dari tegangan 150 kV ke tegangan 20 kV atau dari tegangan 70 kV ke tegangan 20 kV yang semua ini dilakukan oleh transformator penurun tegangan (*step down*).

Ada dua kategori saluran transmisi yaitu saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah tanah (*underground*). Kategori pertama menyalurkan tenaga listrik

melalui kawat-kawat yang digantung pada tiang-tiang transmisi dengan perantara isolator-isolator, sedangkan kategori yang kedua menyalurkan tenaga listrik melalui kabel-kabel bawah tanah. Kedua cara penyaluran tersebut mempunyai untung dan rugi-ruginya sendiri. Dibandingkan saluran udara, saluran bawah tanah tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, topan, hujan, angin, bahaya petir dan lain sebagainya. Lagi pula saluran bawah tanah lebih indah karena tidak tampak dari penglihatan karena berada di bawah tanah, sehingga tidak semrawut yang tampak dari luar. Karena alasan terakhir ini, saluran-saluran bawah tanah lebih disukai dewasa ini, terutama di kota-kota besar dan di negara-negara maju. Namun, biaya pembangunan jauh lebih mahal daripada saluran udara dan perbaikannya jauh lebih sulit apabila terjadi gangguan hubung singkat atau gangguan-gangguan lainnya.

Menurut jenis arusnya dikenal sistem arus bolak-balik (*Alternating Current*) dan sistem arus searah (*Direct Current*). Didalam sistem AC penaikan dan penurunan tegangan mudah dilakukan yaitu dengan menggunakan transformator. Itulah yang menjadi sebab mengapa pada saluran transmisi banyak menggunakan saluran AC. Namun, dewasa ini penyaluran arus searah mulai dikembangkan dibeberapa negara di dunia. Penyaluran DC juga mempunyai keuntungan karena isolasinya yang lebih sederhana, sehingga dimungkinkan penyaluran jarak jauh. Namun persoalan ekonomis masih harus diperhitungkan, karena biaya peralatan pengubah dari AC ke DC dan sebaliknya (*converter* dan *inverter*) mahal. Hilangnya daya (rugi daya) utama pada saluran transmisi adalah hilangnya daya tahanan pada penghantar. Disamping itu ada hilang daya korona

dan hilang daya karena kebocoran isolator, terutama pada saluran tegangan tinggi. Pada saluran bawah tanah ada hilang daya dielektrik dan hilang daya pada sarung kabel (*stealth*).

## 2.2. Perlengkapan utama saluran udara 150 kV<sup>[2]</sup>

Dalam konstruksi saluran udara, peralatan-peralatan yang digunakan adalah bermacam-macam dan tiap peralatan tersebut mempunyai fungsi yang berlainan yang menunjang terlaksananya fungsi dari saluran transmisi. Peralatan-peralatan yang penting pada saluran transmisi udara antara lain :

1. Menara transmisi atau tiang transmisi beserta pondasinya.
2. Isolator-isolator.
3. Kawat penghantar (konduktor).
4. Kawat tanah (*ground wire*).

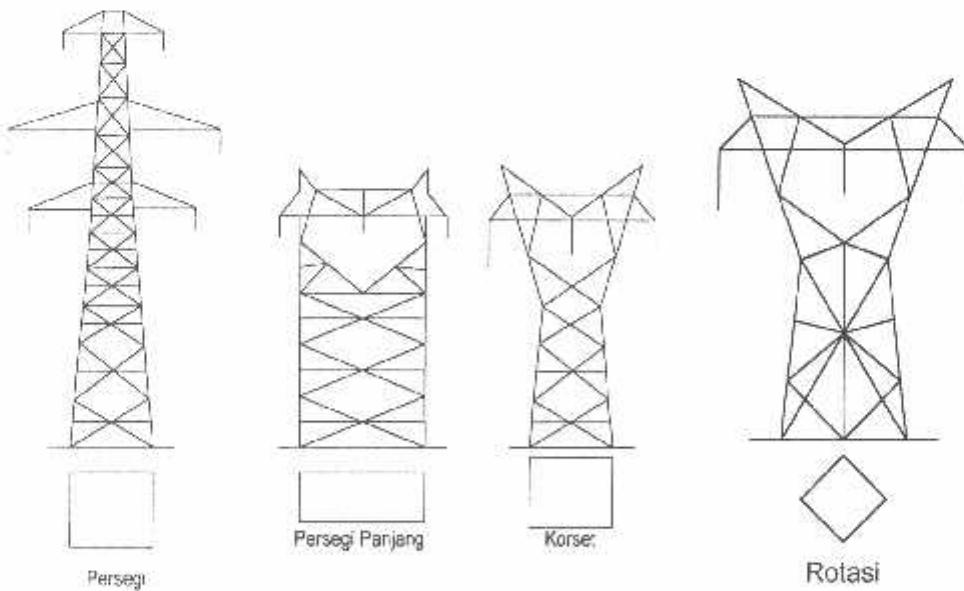
### 2.2.1. Menara Transmisi

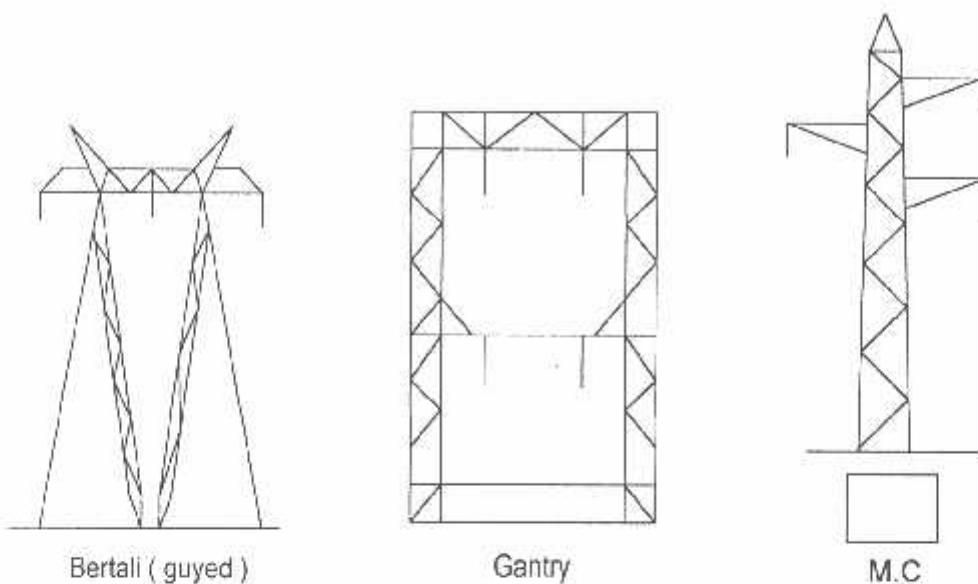
Menara transmisi adalah peralatan yang digunakan untuk menggantungkan kawat penghantar dan isolator agar tidak mengenai benda-benda di bawahnya, seperti manusia, bangunan, hewan dan sebagainya. Menara transmisi yang banyak digunakan adalah menara baja (*steel tower*) yaitu bangunan yang tinggi yang terbuat dari baja yang bagian-bagian kakinya mempunyai pondasi sendiri-sendiri.

Menara baja untuk saluran transmisi dibagi menurut bentuk dan sifat konstruksinya menjadi menara persegi, menara persegi panjang, menara jenis korset, menara gantri, menara rotasi, menara MC, menara bertali (*guyed tower*).

Menurut buku Arismunandar 1993,

1. Menara persegi, banyak digunakan untuk saluran ganda.
2. Menara persegi panjang, bagian atas dan bawahnya sama serta banyak dipakai untuk saluran tunggal dan saluran banyak.
3. Menara *korset*, sempit bagian tengahnya dan dipakai untuk saluran tegangan tinggi rangkaian tunggal serta untuk gawang yang lebar.
4. Menara *gantry*, digunakan apabila saluran menyeberangi jalan kereta api, jalan raya serta kanal-kanal air.
5. Menara *rotasi*, adalah menara yang diputar  $45^\circ$  diatas bagian bawahnya.
6. Menara MC, terbuat dari pipa-pipa baja yang diisi beton.
7. Menara bertali, mempunyai konstruksi berengsel yang menunjang beban mekanisnya dengan kawat-kawat penahan (*stay wires*).





**Gambar 2.1 Macam-macam menara transmisi baja<sup>[2]</sup>**

Menurut fungsinya menara transmisi dapat dibedakan menjadi :

1. Menara penegang (*tension tower*)

Menara penegang disamping berfungsi untuk menahan gaya berat juga menahan gaya tarik dari kawat-kawat saluran udara tegangan tinggi (SUTT).

2. Menara penyangga (*suspension tower*)

Menara penyangga digunakan untuk mendukung atau menyangga dan harus kuat terhadap gaya berat dari peralatan listrik yang ada pada tiang tersebut.

3. Menara sudut (*angle tower*)

Menara sudut adalah menara penegang yang berfungsi menerima gaya tarik akibat dari perubahan arah saluran udara tegangan tinggi.

4. Menara akhir (*dead end tower*)

Menara akhir adalah menara penegang yang direncanakan sedemikian rupa sehingga kuat untuk menahan gaya tarik kawat-kawat dari satu arah saja. Menara akhir juga ditempatkan diujung saluran udara tegangan tinggi yang akan masuk ke *switch yard* Gardu Induk.

### 5. Menara transportasi

Menara transportasi adalah menara penegang yang berfungsi sebagai tempat perpindahan letak susunan fasa kawat-kawat saluran udara tegangan tinggi.

#### 2.2.2. Isolator

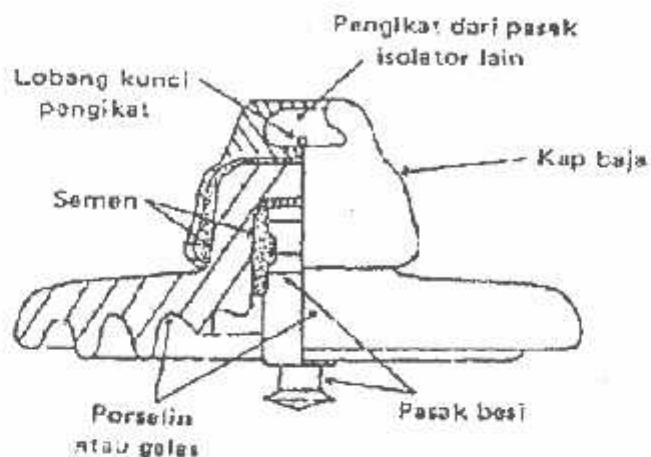
Isolator adalah bagian dari sistem transmisi yang berfungsi untuk mengisolir bagian yang bertegangan (kawat penghantar) dengan bagian yang tidak bertegangan (tiang menara). Isolator harus mampu menahan gaya-gaya dari luar maupun gaya mekanis karena berat dari penghantar.

Menurut penggunaannya dan konstruksinya dikenal dengan tiga jenis isolator, yaitu :

1. Isolator jenis pasak.
2. Isolator jenis pos saluran.
3. Isolator gantung.

Pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kV pada umumnya digunakan gandengan isolator gantung yang terbuat dari bahan porselen atau gas, sedangkan isolator batang panjang dipakai ditempat-tempat dimana pengotoran udara karena garam dan debu banyak terjadi. Isolator jenis batang panjang mempunyai sedikit bagian logam sehingga tidak mudah menjadi rusak. Oleh karena rusuknya yang

sederhana, maka ia mudah tercuci oleh hujan, sehingga jenis ini sesuai untuk penggunaan pada tempat-tempat yang banyak dikotori garam dan debu.



Gambar 2.2 Isolator Gantung<sup>[2]</sup>

Isolator harus mempunyai mempunyai kekuatan mekanis guna memikul beban mekanis dari kawat penghantar yang diisolasiannya. Porcelain atau glass harus bebas dari goresan-goresan, keretakan serta mempunyai ketahanan terhadap perubahan suhu yang mendadak dan tumbukan-tumbukan dari luar.

### 2.2.3. Kawat Penghantar (Konduktor)

Kawat penghantar adalah komponen yang memegang peranan penting dalam menyalurkan tenaga listrik dari satu tempat ke tempat yang lain. Pada saluran transmisi udara biasanya kawat penghantar yang digunakan adalah kawat tanpa isolasi yang padat (*solid*), berlilit (*stranded*), atau berongga (*bollow*) dan terbuat dari logam biasa, logam campuran (*alloy*) atau logam paduan (*composite*).

Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dalam

konduktivitas 97,5% (Cu 97,5%), atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Macam-macam kawat penghantar aluminium adalah sebagai berikut :

1. AAC : *All Aluminium Conductor*, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
2. AAAC : *All Aluminium Conductor*, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
3. ACSR : *Aluminium Conductor Steel Reinforced*, yaitu kawat penghantar yang berinti kawat baja.
4. ACAR : *Aluminium Conductor Alloy Reinforced*, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

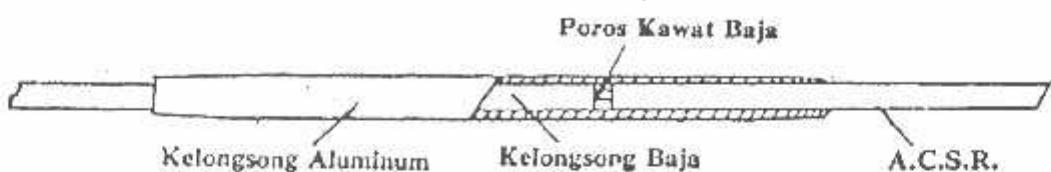
Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya yang lebih tinggi. Tetapi kelemahannya adalah untuk besar tahanan yang sama tembaga lebih berat daripada aluminium, dan juga lebih mahal.

#### **2.2.3.1. Peralatan Pembantu Kawat Penghantar**

Agar pemasangan kawat penghantar pada pasangan isolator lebih praktis dan kuat, maka dalam pemasangan kawat penghantar dilengkapi dengan peralatan-peralatan pembantu pada saluran transmisi. Peralatan pembantu pada kawat penghantar antara lain, sambungan penghantar (*joint*), perentang (*spacer*), batang pelindung (*armor rods*), peredam (*dampers*).

##### **a. Sambungan Penghantar (*Joint*)**

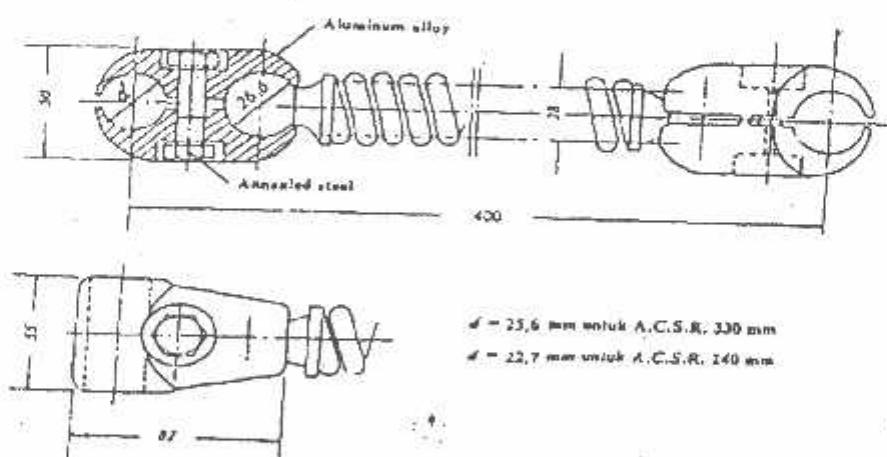
Alat ini digunakan untuk menyambung konduktor (kawat penghantar), penyambungan dengan alat ini akan mendapatkan hasil yang cukup baik karena mempunyai kekuatan tarik yang sama dengan kekuatan dari kawat penghantar.



Gambar 2.3 Sambungan Penghantar<sup>[2]</sup>

#### b. Perentang (*Spacer*)

Perentang (*spacer*) dipasang untuk menghindarkan agar kawat-kawat penghantar dalam satu fasa tidak mendekat atau bertumbukan karena gaya-gaya elektromekanis atau angin.

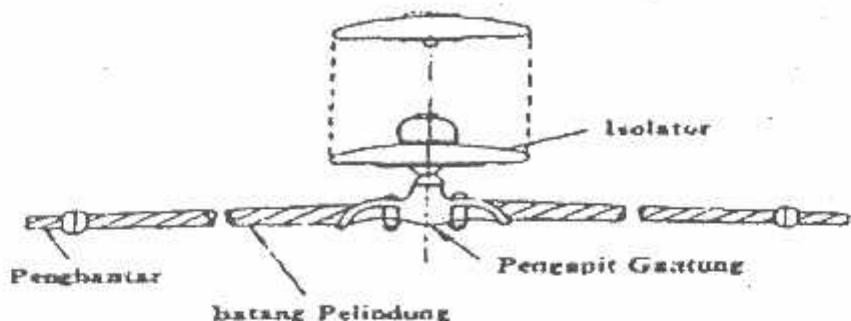


Gambar 2.4 Perentang (*Spacer*)<sup>[2]</sup>

#### c. Batang Pelindung (*armor rods*)

Karena adanya getaran yang diakibatkan oleh angin, maka menimbulkan gaya-gaya pada tempat gantungan dari kawat penghantar, sehingga kawat

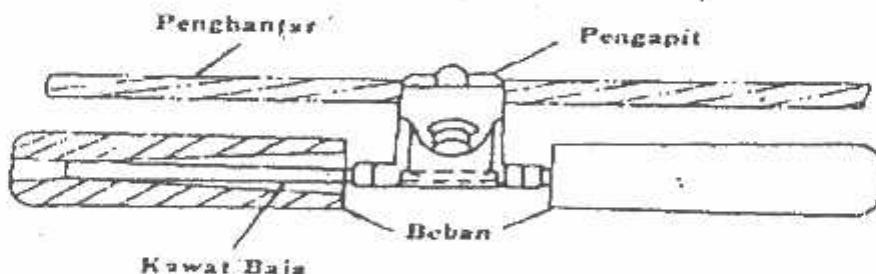
penghantar akan menjadi lelah dan dapat putus. Untuk mengatasi gaya-gaya tersebut maka dipasang batang-batang pelindung (*armor rods*) sebagai penguatan.



Gambar 2.5 Batang Pelindung<sup>[2]</sup>

#### d. Peredam (*Dampers*)

Peredam digunakan untuk menghindari kelelahan pada tiap-tiap titik topang dari kawat penghantar maupun kawat tanah. Kelelahan pada kawat penghantar tersebut diakibatkan oleh gaya-gaya luar (angin) atau gaya berat dari kawat penghantar. Peredam biasanya dipasang dekat dengan pengait (*clamps*).



Gambar 2.6 Peredam (*Dampers*)<sup>[2]</sup>

#### 2.2.4. Kawat Tanah (*ground wires*)

Kawat tanah atau ground wires juga disebut sebagai kawat pelindung (*shield wires*) yang berguna untuk melindungi kawat-kawat penghantar atau

kawat-kawat fasa terhadap sambaran petir dan mengalirkan arus petir tersebut ke tanah melalui menara transmisi, oleh karena itu kawat tanah dipasang diatas kawat penghantar. Umumnya kawat tanah yang dipakai adalah kawat baja (*steel wires*) yang lebih murah, tetapi tidak jarang juga digunakan ACSR.

Efisiensi perlindungan bertambah tinggi bila kawat tanah semakin dekat dengan kawat fasa. Untuk sambaran langsung kawat tanah melindungi kawat fasa, dan untuk memperoleh perisaian yang baik kedudukan kawat tanah harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut :

1. Jarak kawat tanah diatas kawat fasa diatur sedemikian rupa agar dapat mencegah sambaran langsung.
2. Pada tengah gawang (*midspan*) kawat tanah harus mempunyai jarak yang cukup diatas kawat fasa untuk mencegah terjadinya lompatan api samping (*side flashover*) selama waktu yang diperlukan untuk gelombang pantulan negatif dari menara kembali ke tengah gawang.
3. Tahanan kaki menara harus cukup rendah untuk membatasi tegangan pada isolator agar tidak terjadi lompatan api.
4. Pada perisaian terhadap gardu induk kawat tanah harus cukup panjang sehingga surja yang masuk dapat diredam.

### **2.3. Faktor-faktor Penyebab Gangguan pada Saluran Transmisi<sup>[2][3][11]</sup>**

Dalam sistem tenaga listrik bagian yang paling sering terkena gangguan adalah kawat transmisinya (kira-kira 70% sampai 80% dari seluruh gangguan).

Hal ini disebabkan luas dan panjang kawat transmisinya yang terbentang dan beroperasi pada kondisi udara yang berbeda-beda. Pada saluran transmisi suatu gangguan dapat disebabkan oleh kesalahan mekanis, thermis dan tegangan lebih atau karena material yang cacat atau rusak.

Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem transmisi tegangan tinggi adalah :

1. Surja petir atau surja hubung.

Dari pengalaman diperoleh bahwa petir sering menyebabkan gangguan pada sistem tegangan tinggi sampai 150 - 220 kV. Sedangkan pada sistem diatas 380 kV yang menjadi sebab utama adalah surja hubung.

2. Burung atau daun-daun.

Jika burung terbang dekat dengan isolator gantung dari saluran transmisi, maka *clearance/jarak aman* menjadi berkurang sehingga akan memungkinkan terjadi lompatan api.

3. Polusi (debu).

Debu-debu yang menempel pada isolator bisa merupakan konduktor yang bisa menyebabkan terjadinya lonecatan api.

4. Pohon-pohon yang tumbuh dekat saluran transmisi.

Batang-batang atau dahan yang tinggi bisa menyentuh kawat transmisi dan ini bisa sangat membahayakan karena dalam keadaan basah dapat menjadi gangguan yang serius pada daerah sekitarnya sehingga perlu ditebang atau dirapikan.

5. Retak-retak pada isolator.

Dengan adanya retak-retak pada isolator maka secara mekanis apabila ada petir yang menyambar akan terjadi tegangan tembus (*breakdown*) pada isolator.

Mengingat gangguan yang sering terjadi pada saluran atau menara transmisi 150 kV disebabkan oleh gangguan petir, maka pada saluran transmisi tersebut perlu dilengkapi dengan kawat tanah dan sistem pentahanan yang baik.

### **2.3.1. Gangguan Petir Pada Saluran Transmisi**

Gangguan petir pada saluran transmisi adalah gangguan akibat sambaran petir pada saluran transmisi, baik secara langsung maupun tidak langsung (sambaran induksi), yang akan menyebabkan terganggunya saluran transmisi didalam menyalurkan daya listrik. Terdapat tiga jenis sambaran petir terhadap saluran transmisi, yaitu :

1. Sambaran langsung pada kawat konduktor, sehingga lompatan bunga api pada titik topang atau tempat-tempat tertentu dalam gawang tidak dapat dihindarkan.
2. Sambaran pada menara transmisi atau kawat tanah atas (*over head ground wire*) yang menyebabkan lompatan api karena kenaikan potensial menara oleh sebab tingginya tahanan kaki menara.
3. Sambaran pada kawat tanah atas yang menyebabkan lompatan bunga api ke kawat konduktor karena curamnya bentuk gelombang petir.

Menurut penelitian, perbandingan jumlah sambaran petir yang menyambar menara atau yang didekatnya adalah 60% dari seluruh sambaran dan sisanya

sebesar 40% pada seperempat dan setengah gawang yang besarnya diambil berturut-turut 30% dan 10%.

### **2.3.2. Proses Terjadinya Petir**

Pada keadaan tertentu, dalam lapisan atmosfer bumi terdapat gerakan angin ke atas membawa udara lembab. Makin tinggi dari muka bumi, makin rendah tekanan dan suhunya. Uap air mengkondensasi menjadi titik air dan membentuk awan. Angin keras yang meniup keatas membawa awan lebih tinggi. Pada ketinggian kurang lebih 5 km, membeku menjadi kristal es yang turun lagi karena adanya gravitasi bumi. Karena tetesan air mengalami pergeseran horizontal maupun vertikal, maka terjadilah pemisahan muatan listrik. Tetesan air yang bermuatan positif biasanya berada dibagian atas, dan yang muatan negatif di bagian bawah.

Dengan adanya awan yang bermuatan akan timbul muatan induksi pada muka bumi, hingga timbul medan listrik. Mengingat dimensinya bumi dianggap rata terhadap awan. Jadi awan dan bumi dianggap sebagai kedua plat kondensator. Jika medan listrik yang terjadi melebihi medan tembus udara maka akan terjadi pelepasan muatan, pada saat itulah terjadi petir.

### **2.4. Tujuan Pentanahan Menara<sup>[5][3][6][7]</sup>**

Pantanahan menara transmisi adalah penambahan suatu alat pantanah atau elektroda tanah, untuk menurunkan tahanan kaki menara. Pantanahan menara transmisi ini dilakukan apabila tahanan kaki menara masih dianggap terlalu tinggi, atau melebihi batas yang telah ditentukan. Pada saluran transmisi di Indonesia

tahanan kaki menara yang diperbolehkan maksimum adalah 10 ohm. Untuk menentukan berapa batas maksimum tahanan kaki menara yang diperbolehkan agar tidak terjadi *flashover*, L.V. Bewley memberikan suatu hubungan sebagai berikut :

dimana :

$R_1$  = Tahaman kaki menara.

$V$  = Batas tegangan *flashover* dari gandengan isolator yang digunakan.

$I_s$  = Arus kilat maksimum pada menara.

$K_c$  = Faktor kopling antara kawat tanah dan kawat fasa.

Dalam perancangan  $I_s$ , biasanya digunakan besaran antara 60 - 100 kA.

Tahanan kaki menara yang rendah mempunyai beberapa keuntungan antara lain :

- a. Mengurangi tegangan pada kawat tanah.
  - b. Mengurangi tegangan pada kawat fasa.
  - c. Mengurangi tegangan pada isolator.
  - d. Memperpendek lama terjadinya gangguan.

Adapun tujuan dari pentanahan kaki menara transmisi adalah sebagai berikut :

- a. Untuk membatasi bagian-bagian yang tidak dilalui arus dan bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman dan tidak membahayakan untuk semua kondisi operasi normal dan tidak normal

- dan juga untuk menjaga agar operator atau orang yang berada di daerah itu berada aman dari gangguan pada saat terjadi gangguan.
- b. Untuk memperoleh impedansi yang kecil dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah.

Agar sistem pentanahan dapat bekerja dengan efektif, harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- a. Membuat jalur impedansi yang rendah ke tanah untuk pengamanan personil ke tanah dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
- b. Dapat melawan dan menyebarluaskan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung.
- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

## 2.5. Karakteristik Tanah<sup>[5][6]</sup>

Dalam perencanaan sistem pentanahan perlu diketahui dulu karakteristik dari pada tanah. Karena dari arus gangguan yang diketanahkan melalui konduktor terdistribusi di dalam tanah yang diusahakan merata. Bagian komponen utama tanah adalah bahan organik dan anorganik serta air, sangat sulit untuk mendapatkan struktur yang baik karena komposisinya yang tidak homogen. Sedangkan karakteristik dasar mengenai tahanan jenis tanah tergantung pada

banyaknya faktor, yaitu tipe tanah berbatu atau tidak, kering atau basah, perbedaan lapisan tanah dan lain-lain. Di bawah ini diberikan contoh tabel tahanan jenis tanah pada beberapa tipe/struktur tanah.

**Tabel 2.1**  
**Nilai Tahanan Spesifik Berbagai Jenis Tanah**

Jenis Tanah	Tahanan Jenis (Ω-meter)
Sawah, rawa (tanah liat)	0 - 15
Tanah garapan (tanah liat)	1 - 20
Sawah, tanah garapan (kerikil)	10 - 100
Pegunungan (biasa)	20 - 200
Pegunungan (berbatu)	200 - 500
Pinggir sungai (berbatu)	100 - 500

Sumber : Penyaluran Ting Lstruk, Ir. Heri Purnomo, Unibraw.

Kadar garam dikandung air sebagai elektrolit mempengaruhi konduktivitas tanah, sehingga tahanan jenis tanah tergantung dari komposisi kimia. Konduktivitas tanah merupakan daya hantar konduktor dari tanah, dan berbanding lurus dengan kandungan air di dalam tanah sehingga semakin banyak kandungan air semakin besar konduktivitasnya juga semakin kecil tahanan jenisnya.

## 2.6. Macam-macam Sistem Pentanahan pada Menara<sup>[5][6][7]</sup>

Macam sistem pentanahan pada menara transmisi adalah :

- a. Sistem pentanahan rod (batang elektroda).
- b. Sistem pentanahan counterpoise.
- c. Sistem pentanahan rod dan counterpoise (gabungan).

### 2.6.1. Sistem Pentanahan Rod (Batang Elektroda)

Sistem pentanahan rod adalah pentanahan yang menanamkan batang elektroda tegak lurus kedalam tanah dengan panjang 3 sampai 15 meter. Biasanya batang elektroda yang digunakan adalah besi galvanis atau tembaga yang jumlahnya satu atau lebih tergantung dari kebutuhan dan kondisi tanah tersebut. Besarnya tahanan terhadap tanah dari satu batang elektroda yang ditanam kedalam tanah dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho}{2\pi t} \ln \frac{2L}{d} \dots \quad (2.2)$$

Dimana :

R : tahanan kaki menara (ohm)

$\rho$  : tahanan jenis tanah (ohm-meter)

L : panjang batang elektroda yang tertanam dalam tanah (meter)

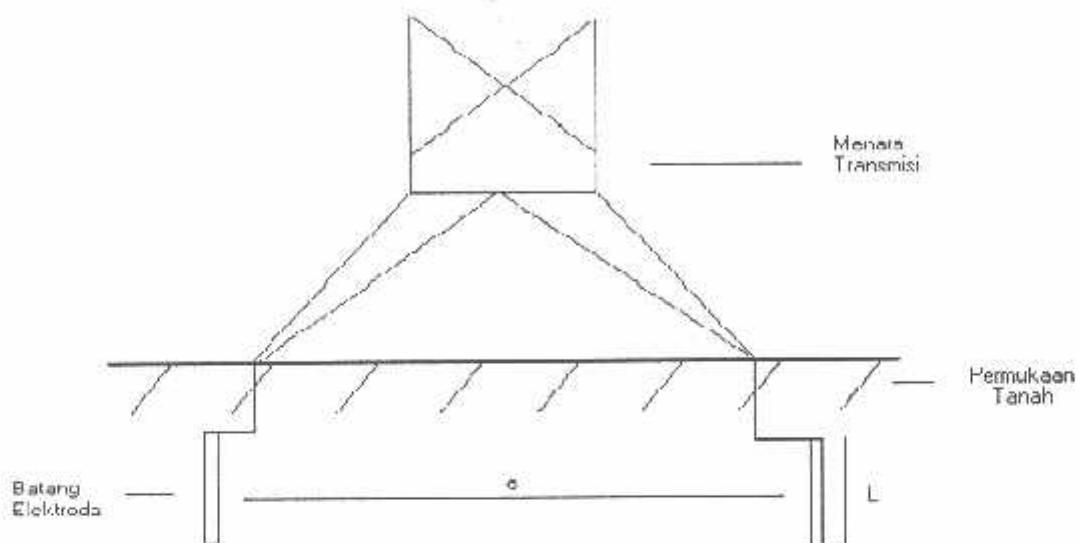
D : diameter batang elektroda (meter)

Batang pengetahanan dapat dipararel untuk mengurangi tahanan kaki menara. Penggunaan batang pararel rumus diatas dapat tetap digunakan untuk menghitung kaki menara, bila variable d diubah menjadi A.

Penempatan pengetahuan adalah sebagai berikut :

Jika menggunakan satu batang elektroda belum dapat mencapai harga tahanan yang rendah, untuk tahanan jenis yang tinggi, maka jumlah batang

elektroda yang ditanam dapat ditambah sehingga bisa didapat tahanan pentanahan yang rendah. Dibawah ini adalah gambar yang memperlihatkan pentanahan rod atau batang elektroda.



Gambar 2.7. Pentanahan Rod (batang elektroda)<sup>[1][6]</sup>

### 2.6.2. Sistem Pentanahan Counterpoise

Sistem pentanahan Counterpoise adalah pentanahan menara transmisi dengan kawat elektroda yang ditanam kedalam tanah sejajar dengan permukaan tanah dan direntangkan menjauhi menara tersebut dengan menanamkan kawat elektroda sejajar dengan tanah. Pendekatan untuk menentukan tahanan efektif atau tahanan terhadap tanah dari counterpoise antara lain :

- Counterpoise satu lengan atau satu kawat counterpoise

$$Rc = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 2 + \frac{s}{L} \right) \dots \quad (2.6)$$

Dimana :

$Rc$  = tahanan efektif counterpoise dua kawat terhadap tanah yang ditanam kedalam tanah (ohm)

$L$  = panjang kawat counterpoise (meter)

$\rho$  = tahanan jenis tanah (ohm-meter)

$a$  = jari-jari counterpoise yang digunakan (meter)

$s$  = dalam penanaman (meter)

- Counterpoise dua lengan atau dua kawat counterpoise

$$Rc = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right) \dots \dots \dots (2.7)$$

- Counterpoise tiga lengan atau tiga kawat counterpoise

$$Rc = \frac{\rho}{6\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 1,071 - 0,209 \frac{s}{L} + 0,238 \frac{s^2}{L^2} - 0,054 \frac{s^4}{L^4} \right) \dots \dots \dots (2.8)$$

- Counterpoise empat lengan atau empat kawat counterpoise

$$Rc = \frac{\rho}{8\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2,912 - 1,071 \frac{s}{L} + 0,645 \frac{s^2}{L^2} - 0,145 \frac{s^4}{L^4} \right) \dots \dots \dots (2.9)$$

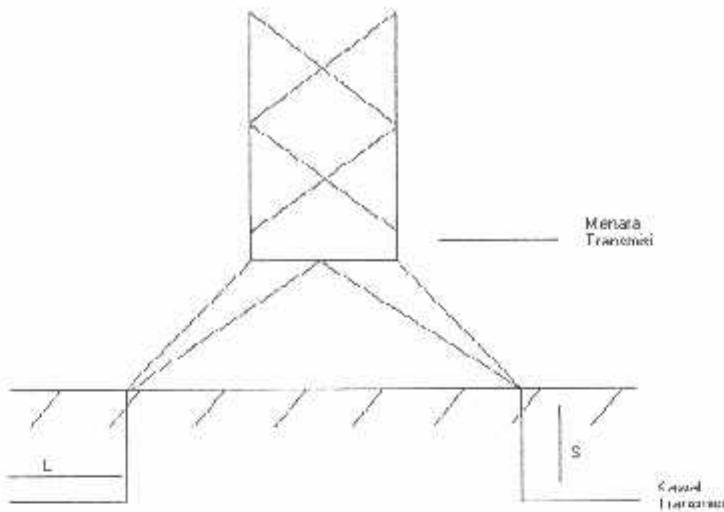
Jenis pentanahan counterpoise sendiri ada dua macam yaitu :

1. Counterpoise radial.

Kawat-kawat direntangkan memanjang radial dari sudut kaki menara.

2. Counterpoise Pararel,

Kawat direntangkan dari sudut kaki menara sejajar dengan arah saluran.



Gambar 2.8. Peningkatan Counterpoise<sup>[1][6]</sup>

Dinana :

S = Kedalaman penanaman kawat elektroda (meter)

L = Panjang kawat elektroda (meter)

### 2.6.3. Sistem Pentanahan Rod dan Counterpoise (Gabungan)

Sistem pentanahan gabungan adalah kombinasi antara sistem pentanahan rod dan counterpoise yang dihubung secara pararel pada setiap kaki menara transmisi. Pentanahan ini dilakukan apabila tahanan kaki menara masih terlalu tinggi dan tidak bisa dikurangi dengan menggunakan sistem pentanahan counterpoise ataupun Rod. Besarnya tahanan kaki menara dengan sistem pentanahan gabungan dapat dirumuskan sebagai berikut :

- Gabungan antara Rod dan Counterpoise yang dipararel ;

$$Rg = \frac{Rr * Rc}{Rr + Rc} \dots \quad (2.10)$$

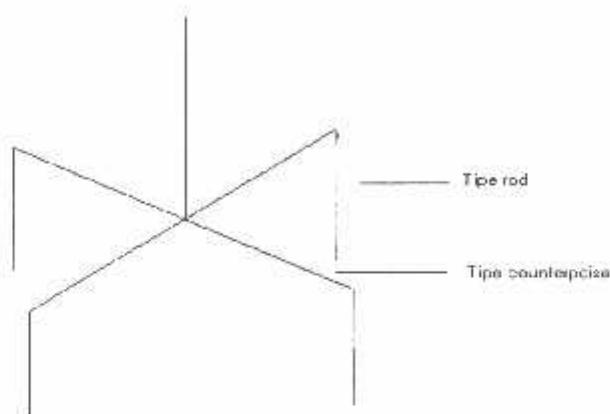
Dimana :

*Rg* = tahanan kaki menara gabungan (ohm)

$R_r$  = tahanan kaki menara Rod (ohm)

$R_c$  = tahanan kaki menara Counterpoise (ohm)

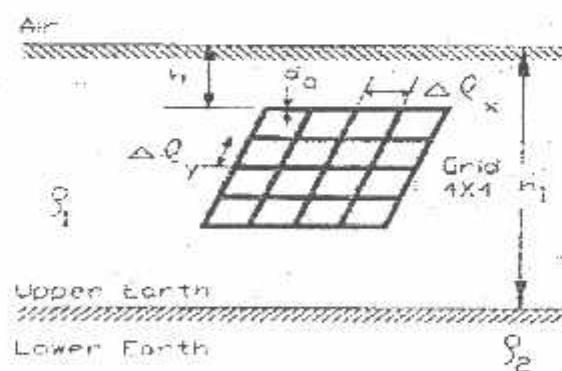
Gambar 2.9 memperlihatkan pentanahan gabungan antara Rod dan Counterpoise dengan empat elektroda pentanahan.



Gambar 2.9. Pentanahan Gabungan (rod dan counterpoise)<sup>[1]</sup>

#### 2.7. Sistem Pentanahan Pada Gardu Induk<sup>[5][6]</sup>

Metode pentanahan yang digunakan pada Gardu Induk kebanyakan adalah menggunakan metode pentanahan kisi-kisi atau pentanahan Grid yang tersebar seluas Gardu Induk, pentanahan ini juga biasa disebut dengan pentanahan jala-jala yang mana bisa digunakan dengan persamaan dibawah ini :



Gambar 2.10 Sistem Pengetanahan Gardu Induk<sup>[5][6]</sup>

$$R_{tml+2} = \rho \left( \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{1}{2\pi L} \ln \left( \frac{0.165\Delta l}{d_0} \right) \right) \left( 1 - \frac{2h}{\sqrt{A}} x l, 128 \right) \dots \quad (2.11)$$

dimana,

$\rho$  = tahanan jenis tanah

$\Lambda$  = luas grounding grid

$d_0$  = diameter konduktor pentanahan

$\Delta l$  = jarak antar konduktor

$h$  = kedalaman pentanahan

N = jumlah mesh

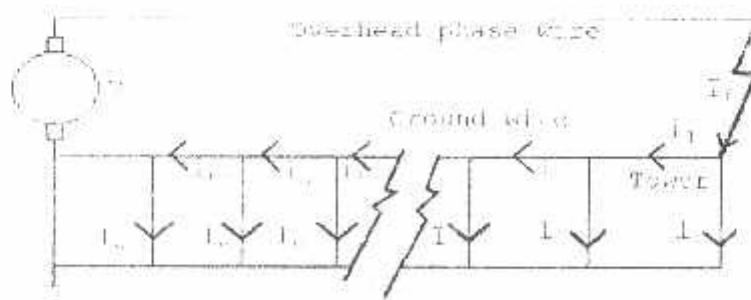
### BAB III

## PROBABILITAS DAN DISTRIBUSI ARUS GANGGUAN KILAT

### MELALUI KAWAT TANAH KE PENTANAHAN KAKI MENARA DAN GARDU INDUK

#### 3.1. Distribusi Arus Gangguan Dari Pusat Menara<sup>[3][4][11]</sup>

Untuk melindungi kawat fasa terhadap sambaran langsung dari petir digunakan satu atau dua kawat tanah yang terletak di atas kawat fasa. Tetapi kemungkinan terjadinya loncatan balik (*back flashover*) karena sambaran kilat secara langsung pada puncak menara atau kawat tanah masih ada. Dan untuk menguranginya, maka tahanan kaki menara harus dibuat tidak melebihi 10 Ohm. Adanya arus gangguan di saluran transmisi biasanya disebabkan oleh sambaran petir yang mengenai kawat tanah atau terminal menara. Hal ini mengakibatkan terjadinya gradient tegangan di permukaan tanah di sekitar menara transmisi yang dapat membahayakan manusia yang ada di sekitar daerah tersebut. Hubungan antara kawat tanah dengan tanah melalui menara transmisi, dapat digambarkan seperti gambar 3.1. Di mana masing-masing menara memiliki sendiri elektrode pentanahan.



Gambar 3.1. Distribusi Arus Gangguan Kilat<sup>[4]</sup>

Dalam kasus ini hanya terdapat satu gangguan yang terjadi dan diasumsikan gangguan terjadi pada salah satu menara transmisi sebagai pusat terjadinya gangguan. Arus In akan mengalir dari pusat gangguan di menara transmisi tersebut dan terdistribusi melalui kawat tanah menuju terminal menara yang lainnya. Arus In yang mengalir melewati menara transmisi ke-n diperhitungkan dari terminal menara diasumsikan gangguan terjadi besarnya adalah  $i_n - i_{n+1}$ . Aliran arus ini akan diketanahkan di kaki menara dengan tahanan pengetaran sistem Counterpoise, Rod ataupun gabungan.

Dari gambar di atas terdapat arus gangguan yang didistribusikan melalui kawat tanah menuju menara-menara terminal lainnya. Arus  $I_f$  adalah gangguan yang berpusat pada salah satu menara, arus ini akan terdistribusi melalui kawat tanah ( $i_1$ ), menara transmisi pusat gangguan ( $I_0$ ) dan ke Gardu Induk ( $I_k$ ). Karena pada masing-masing menara mempunyai tahanan pentahanan, maka dengan terdistribusinya arus melalui menara ke- $n$  ( $I_n$ ) yang dihubungkan dengan kawat tanah atas maka arus  $I_n$  akan semakin berkurang. Bila besarnya impedansi kawat tanah yang terhubung antara dua menara yang diketanahkan (*grounded*) adalah sebesar  $Z_g$ , sedangkan *resistansi* tiap menara dimana untuk tiap menara adalah  $R_b$ , maka persamaan *node* dan *loop* untuk jaringan ke- $n$  didapatkan :

$$\begin{aligned} I_n &= i_n - i_{n+1} \\ I_{n-1} &= i_{n-1} - i_n \\ i_a Z_k - I_f Z_k + I_a R_i - I_{a-1} R_t &= 0 \end{aligned} \quad \dots \quad (3.1)$$

Dimana :

$Z_g$  = impedansi kawat tanah

$R_t$  = tahanan pentanahan kaki menara

$i_n$  = arus yang melalui kawat tanah dari menara transmisi ke- $n$

$I_n$  – arus yang melalui menara terminal ke-n

Dari persamaan di atas, terdapat faktor kopling antara kawat fasa saluran udara (*overhead phase*) dengan konduktor pentahanan (*ground conductor*) yang dinyatakan sebagai :

$$\mu = \frac{\log(b/a)}{\log\left(\frac{2h}{r'}\right)} \quad \dots \dots \dots \quad (3.2)$$

di mana :

b : jarak antara konduktor terhadap bayangan kawat tanah (meter)

a : jarak *vertikal* antara konduktor (fasa) ke kawat tanah (meter)

$h$  : ketinggian kawat tanah terhadap permukaan tanah (meter)

$r$ : radius dari kawat tanah (cm)

Dari persamaan (3.21), diberikan persamaan untuk arus kawat tanah :

$$I_{n+1} = \frac{(I_n - I_{n+1})R_i}{Z_k} + \mu J_j \quad \dots \quad (3.4)$$

substitusi ke persamaan (3.3) didapat :

atau

$$\frac{I_n Z_g}{R_i} = (I_{n+1} - I_n) - (I_n - I_{n-1}) = \Delta^2 I_n \dots \quad (3.6)$$

dalam persamaan yang berbeda didapatkan :

$$I_n = Ae^{i\omega t} + Be^{-i\omega t} \quad \dots \dots \dots \quad (3.7)$$

di mana :

juga dengan mensubstitusikan harga dari persamaan (3.3) ke dalam (3.5), akan didapatkan :

$$i_n Z_i - \mu I_f Z_g + (i_n - i_{n+1}) R_i - (i_{n-1} - i_n) R_f = 0 \quad \dots \quad (3.9)$$

atau

$$i_n Z_g / R_i = \Delta^2 i_n + \mu d_f Z_g / R_i \dots \quad (3.10)$$

di mana merupakan sebuah persamaan konstan dan mempunyai solusi :

$$i_n = ae^{j\omega_0 t} + be^{-j\omega_0 t} + \mu I_f \dots \quad (3.11)$$

Dengan mensubstitusikan harga dari  $i_n$  dan  $i_{n+1}$  dari persamaan (3.11) ke (3.1), akan didapat :

$$A = a(1 - e^{-\alpha}) \text{ dan } B = b(1 - e^{-\alpha})$$

Jika panjang jaringan cukup panjang, setelah jarak tertentu, beberapa harga akan mengalami penurunan ke nol ( $A=0$ ), maka :

$$I_n = Be^{-\alpha n} \dots \quad (3.13)$$

$$i_s = \frac{Be^{-\alpha t}}{(1 - e^{-\alpha})} + \mu I_f \dots \quad (3.14)$$

Untuk mendapatkan arus pada menara pertama ( $n=0$ ) dimana pusat gangguan menara terjadi :

$$I_0 = B \dots \quad (3.15)$$

dan arus yang mengalir melalui kawat tanah dari pusat menara ditentukan dengan:

$$i_i = \frac{Be^{-\alpha x}}{(1-e^{-\alpha})} + \mu I_j \quad \dots \quad (3.16)$$

Kondisi yang membatasi menara terminal pada gambar 3.1 adalah :

$$I_f = I_0 + i_f \quad (3.17)$$

Substitusi harga dari persamaan (3.15) dan (3.16) ke (3.17) akan didapat :

$$I_f = \frac{Be^{-\alpha}}{(1 - e^{-\alpha})} + \mu I_f \quad \dots \dots \dots \quad (3.18)$$

$$B = I_f (1 - e^{-\alpha}) (1 - \mu) = I_b \quad \dots \dots \dots \quad (3.19)$$

lo adalah arus yang mengalir ke tanah melalui menara terminal pertama pada gambar 3.1 dan hal ini membuktikan bahwa besarnya mengalami penurunan karena harga dari faktor kopling ( $\mu$ ). Substitusi harga dari B ke persamaan (3.16) akan memberikan pada kita sebuah persamaan :

$$i_1 = I_f \cdot [e^{-\alpha} + \mu(1 - e^{-\alpha})] \quad (3.21)$$

Persamaan di atas menunjukkan adanya kenaikan arus kawat tanah ( $i_1$ ) akibat adanya  $\mu$ . Kenaikan tegangan pada menara terminal :

$$\begin{aligned} V &= I_0 R_i \\ &= I_f (1 - e^{-\alpha}) (1 - \mu) R_i \\ &= I_f Z_\infty \end{aligned} \quad (3.22)$$

di mana  $Z_\infty$  adalah impedansi dari jaringan pentanahan menara dan besarnya :

$$\begin{aligned} Z_\infty &= (1 - e^{-\alpha})(1 - \mu)R_t \\ &= \left[ \frac{2 \tanh \alpha/2}{1 + \tanh \alpha/2} \right] (1 - \mu)R_t \\ &= \frac{\sqrt{\frac{Z_g / R_t}{1 + Z_g / R_t}}}{1 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Z_g / R_t}{1 + Z_g / 4R_t}}} \cdot (1 - \mu)R_t \quad \dots \dots \dots (3.23) \\ &= \sqrt{Z_g R_t} (1 - \mu) \end{aligned}$$

Dimana :

$Z_g$  – Impedansi kawat tanah (ohm/meter)

$R_t$  = Tahanan pentanahan kaki menara (ohm)

$\mu$  = Faktor kopling

### 3.2. Distribusi Arus Gangguan Pada Terminal Menara Yang Dihubungkan Dengan Grounding Grid Gardu Induk<sup>[3][4]</sup>

Dalam keadaan sesungguhnya, arus gangguan kilat yang muncul pada terminal menara transmisi didistribusikan juga ke pentanahan gardu induk karena dihubungkan dengan kawat tanah pada menara terminal. Sehingga dari terminal menara arus gangguan total  $I_f$  akan terdistribusi menjadi  $I_f'$  yaitu arus yang melalui  $Z_\infty$ , sedangkan sisanya akan menuju ke gardu induk ( $R_k$ ). Dari adanya pemindahan arus ini dapat dijelaskan besarnya arus  $I_0$  yang melalui terminal menara tempat terjadinya gangguan yaitu :

$$I_0 = I_f' (1 - e^{-\alpha}) (1 - \mu) \quad \dots \dots \dots (3.24)$$

Dalam hal ini  $I_k$  adalah arus yang mengalir menuju Gardu Induk  $R_k$ , jadi :

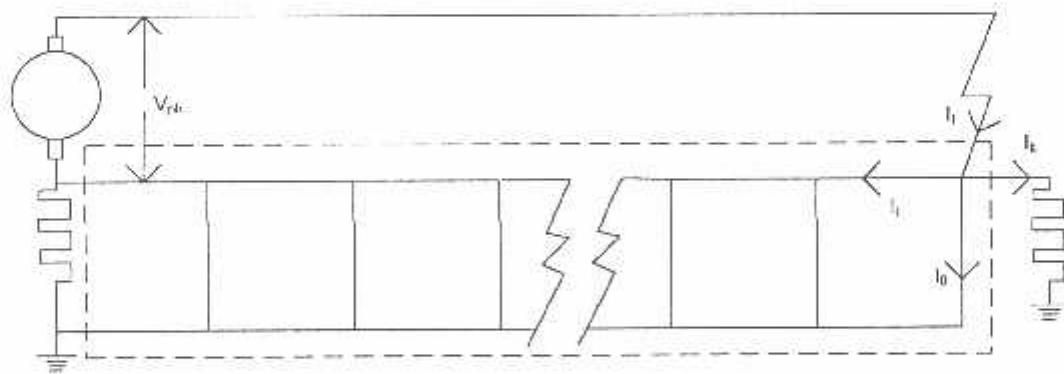
$$I_k = I_f \cdot \frac{Z\infty}{R_k + Z\infty} \quad \dots \quad (3.25)$$

Dalam kasus ini harga dari  $R_k$  dan  $Z_\infty$  sudah diketahui, maka akan didapatkan harga  $I_f$  yaitu :

$$I_{\mu} = I_{\epsilon} \left(1 - e^{-\alpha}\right) (1 - \mu)$$

$$= I_t \frac{\sqrt{Z_g/R_i}}{1 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Z_g/R_i}{1 + Z_g/4R_t}}} (1 - \mu) \dots \quad (3.27)$$

$$i_1 = I_1 - I_0 \dots \quad (3.28)$$



Gambar 3.2. Distribusi Arus Gangguan Kilat Dekat Gardu Induk<sup>[4]</sup>

### 3.3. Impedansi Sendiri Kawat Tanah per satuan panjang<sup>[7]</sup>

Luas penampang kawat tanah yang dipakai adalah  $55 \text{ mm}^2$  yang terhubung sepanjang 15,1 km sehingga tahanan kawat tanah per kilometer :

$$\rho = \frac{1}{58} x \frac{100}{C} \dots \quad (3.30)$$

dimana,

$\rho$  – resistivitas ( $\mu\Omega\text{cm}$ )

*l* = panjang penghantar (cm)

$$A = \text{luas penghantar (mm}^2\text{)}$$

C = konduktivitas

$$Z_g = R_i + 0,0953 + j0,12134x \left[ \ln\left(\frac{1}{GMR}\right) + 7,934 \right] \frac{\Omega}{mi} \quad \dots \dots \dots \quad (3.31)$$

Dimana GMR atau radius rata-rata geometris dari kawat tanah merupakan kabel konsentris dengan 7 kawat yang terdiri dari 1 kawat inti dan 6 kawat yang mengelilingi kawat inti tersebut. Menurut teori Guye jarak rata-rata antara kawat-kawat yang mengelilingi kawat inti adalah  $GMD = 2r\sqrt[3]{6}$ .

Karena jarak dari tiap kawat berurutan adalah  $2r$ , dimana jari-jari tiap kawat  $r$ . Jarak bersama antara tiap pasangan kawat adalah sama dengan jarak antara pusat-pusat kawat. Disini ada  $6 \times 5$  jarak-jarak dan hasil kali itu semua adalah pangkat 30 dari GMD-nya.

Jarak dari pusat kawat yang mengelilingi kawat inti terhadap kawat inti adalah  $2r$  juga. Jumlah jarak-jarak bersama dari kawat-kawat yang terdapat dalam lapisan 6 kawat dengan kawat inti  $6 \times 2 = 12$  jarak-jarak.

Jadi GMR dari kabel konsentris dengan 7 kawat adalah :

$$GMR = \sqrt[7]{r^7 (2r\sqrt[5]{6})^{6+5} (2r)^{6+2}}$$

$$\text{GMR} = 2,1767 \text{ r}$$

### 3.4. Gangguan Kilat<sup>[3][11]</sup>

Satuan gangguan atau angka keluar akibat sambaran kilat diberikan dalam jumlah gangguan per 100 km per tahun. Gangguan ini biasanya dibagi dalam dua kelompok :

1. Gangguan akibat sambaran langsung, yang terdiri dari :
  - a. Gangguan kilat pada kawat tanah
  - b. Gangguan kilat pada kawat fasa atau kegagalan perisaian
2. Gangguan kilat akibat sambaran tidak langsung atau sambaran induksi.

Untuk keperluan perhitungan gangguan kilat pada kawat tanah dibagi lagi dalam tiga macam gangguan, tergantung pada tempat dimana kilat menyambar kawat tanah yaitu :

1. Gangguan kilat pada menara transmisi, yaitu gangguan yang disebabkan sambaran kilat pada kawat tanah yang cukup dekat ke menara.
2. Gangguan kilat pada seperempat gawang.
3. Gangguan kilat pada pertengahan gawang.

Jadi dengan rumus jumlah gangguan itu dapat dinyatakan sebagai :

$$N_0 = N_{SF} + N_t + N_q + N_m \quad (3.32)$$

Dimana,

$N_0$  = jumlah gangguan kilat pada saluran transmisi

$N_{SF}$  = jumlah kegagalan perisaian

$N_t$  = jumlah gangguan pada menara

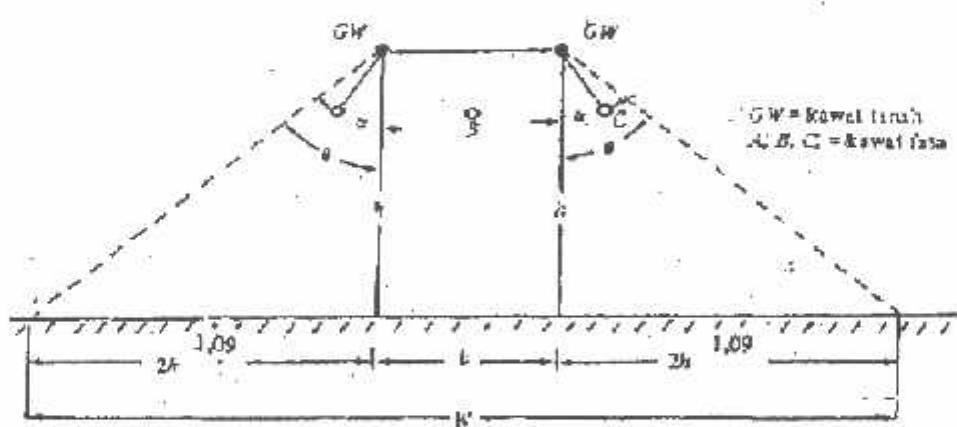
$N_q$  = jumlah gangguan kilat pada seperempat gawang

$N_m$  = jumlah gangguan kilat pada setengah gawang

Pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) sampai 230 kV kemungkinan terjadinya lompatan api antara kawat tanah dan kawat fasa di tempat-tempat seperempat dan setengah gawang dianggap masih tetap ada.

### 3.4.2. Penangkapan Kilat pada Saluran Transmisi

Suatu saluran transmisi diatas tanah dapat dikatakan membentuk bayang-bayang listrik pada tanah yang berada dibawah saluran transmisi itu. Kilat yang biasanya menyambar tanah di dalam bayang-bayang itu akan menyambar saluran transmisi sebagai gantinya, sedang kilat diluar bayang-bayang itu sama sekali tidak menyambar saluran. Lebar bayang-bayang listrik untuk suatu saluran transmisi diberikan oleh gambar 3.3 dibawah ini :



Gambar 3.3. Lebar Jalur Perisaian Terhadap Kilat<sup>[3]</sup>

Lebar bayang-bayang W :

dimana,

$b$  = jarak pemisah antara kedua kawat tanah, meter (bila kawat tanah hanya satu,  $b = 0$ ) (meter).

$h$  = tinggi rata-rata kawat tanah diatas tanah, (meter).

$h_t$  = tinggi kawat tanah pada menara, (meter).

Sesuai dengan keadaan geometris lintasan saluran transmisi, lintasan tersebut dibagi dalam tiga jenis, datar, bergelombang dan bergunung-gunung.

Tinggi rata-rata kawat diatas tanah untuk ketiga jenis lintasan adalah :

(a) Tanah datar :

(b) Tanah bergelombang :

$$h = h_t \dots \quad (3.35)$$

(c) Tanah bergunung-gunung ;

Jadi luas daerah yang dilindungi A dapat dihitung dengan persamaan :

Atau,

$$A = 0.1(b + 4h^{1.09}) \text{ km}^2 \text{ per } 100 \text{ km saluran} \dots \quad (3.38)$$

### **3.4.3. Jumlah Sambaran Kilat ke Bumi**

Jumlah sambaran kilat ke bumi adalah sebanding dengan jumlah hari guruh per tahun atau "*Iso Keraunic Level*" (IKL) di tempat itu. Untuk Indonesia diusulkan menggunakan :

$$N = 0,15 \text{ IKL} \dots \quad (3.39)$$

dimana.

N = jumlah sambaran per  $\text{km}^2$  per tahun

IKL = jumlah hari guruh per tahun

Jadi jumlah sambaran pada saluran transmisi sepanjang 100 km adalah :

Atau

$$N_e = 0,015IKL(b + 4h^{1,09}) \text{ sambaran per } 100 \text{ km per tahun} \dots \dots \dots (3.41)$$

#### 3.4.4. Menghitung Gangguan Kilat pada Menara

Untuk menghitung jumlah gangguan kilat pada menara perlu terlebih dahulu diketahui probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api atau arus susulan yang menimbulkan gangguan :

- (a) Pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) :  $\eta = 0,85$ .

(b) Pada saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) dan saluran udara tegangan ultra tinggi (SUTUT) :  $\eta = 1,0$ .

Dengan anggapan bahwa jumlah sambaran pada menara 60% dari seluruh sambaran, maka jumlah gangguan pada menara adalah :

dan

### **3.4.4.1. Gangguan Kilat pada Seperempat Jarak dan Setengah Jarak dari Menara Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi**

Pada saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) dan saluran udara tegangan ultra tinggi (SUTUT), gangguan pada seperempat dan setengah jarak dari menara diabaikan. Hal itu dapat dilakukan karena jarak-jarak aman antara kawat fasa dan kawat tanah dan kawat fasa ke kawat fasa sangat besar sehingga kekuatan impuls isolasi dari udara ditempat-tempat tersebut cukup besar untuk

mencegah terjadinya lompatan api. Untuk menghitung gangguan kilat pada seperempat dan setengah jarak dari menara digunakan metode AIEE yaitu dengan membandingkan kekuatan isolasi dari jarak antara kawat tanah dan kawat fasa terhadap tegangan yang timbul karena arus kilat ditempat-tempat tersebut maka,

dimana,

$d_o$  = andongan maksimum kawat tanah, meter

$d_o$  = andongan maksimum kawat fasa, meter

$h_1$  = tinggi kawat tanah, meter

$h_t$  = tinggi kawat fasa, meter

$b_q$  = jarak vertikal antara kawat tanah dan kawat fasa di seperempat gawang, meter

$b_m$  = jarak vertikal antara kawat tanah dan kawat fasa di tengah-tengah gawang, meter

Bila  $p$  = jarak horizontal antara kawat tanah dan kawat fasa, meter, maka jarak antara kawat tanah dan kawat fasa :

$$d_q = \sqrt{b_q^2 + p^2} \text{ meter} \dots \quad (3.46)$$

$$d_m = \sqrt{b_m^2 + p^2} \text{ meter} \quad \dots \dots \dots \quad (3.47)$$

Jarak-jarak  $d_q$  dan  $d_m$  menentukan berapa gangguan pada seperempat dan setengah jarak dari menara. Banyaknya gangguan yang diperoleh harus lagi

dikalikan dengan 0,3 untuk memperoleh gangguan pada seperempat jarak dari menara,  $N_d$ , dan dengan 0,1 untuk memperoleh gangguan pada setengah jarak dari menara,  $N_m$ .

#### **3.4.4.2. Kegagalan Perisaian**

Mulai tahun 1920-an telah banyak teori-teori dan percobaan-percobaan dan pengalaman yang dikemukakan para penyelidik mengenai fungsi kawat tanah untuk melindungi kawat fasa pada saluran transmisi.

1. Untuk sudut perisaian  $\theta < 19^\circ$  perisaian kawat transmisi itu baik.
  2. Untuk sudut perisaian  $\theta < 31^\circ$  kurang baik.
  3. Untuk sudut perisaian  $\theta > 40^\circ$  jelek.

Kemudian penyelidik lainnya menunjukkan bahwa jumlah gangguan kilat karena kegagalan perisaiyan adalah sebagai fungsi dari sudut perisaiyan  $\theta$  dan tinggi menara  $h_t$  seperti terlihat dalam relasi empiris persamaan berikut :

$$\log \phi = \frac{\phi \sqrt{h_t}}{90} - 4 \quad \dots \dots \dots \quad (3.48)$$

dimana.

$\phi$  = hasil bagi dari jumlah kilat yang mengenai kawat fasa dan jumlah kilat yang mengenai saluran transmisi.

$\theta_1$  = sudut perisajian pada menara, derajat.

$h_t$  = tinggi kawat tanah pada menara, meter.

Jadi jumlah gangguan karena kegagalan perisaian :

$$N_{sc} = \phi N_s \eta \dots \quad (3.49)$$

Hubungan arus puncak petir dan sering terjadinya serta hubungan antara waktu untuk mencapai puncak dan sering terjadinya adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.1**  
**Hubungan Antara Arus Punkat Kilat Dan Sering Terjadinya**

Besar Arus Puncak Kilat (kA)	Sering Terjadi (*) (%)
60	90
80	8
100	1,2
160	0,5
≥200	0,3

Sumber : "Gel Berjalan dan Proteksi Surja" Ir. TS. Hutaurok 1991

**Tabel 3.2**  
**Hubungan Antara Waktu untuk Mencapai Puncak**  
**dan Seringnya Terjadi**

Waktu mencapai Harga Puncak (mikro-detik)	Sering Terjadinya (*) (%)
0,5	7
1,0	23
1,5	22
$\geq 2,0$	48

(\*) Prosentase seringnya terjadi masalah memerlukan penelitian lebih lanjut  
Sumber : "Gel Beraialan dan Proteksi Surja" Ir. TS. Hutaarak 1991

### 3.5. Radius Efektif Kawat Tanah dengan Korona<sup>[3]</sup>

Apabila pada suatu kawat ada tegangan yang cukup tinggi maka perlu diperhitungkan radius dari amplop korona dengan berdasarkan persamaan :

$$R \ln\left(\frac{2h_i}{R}\right) = \frac{V}{E_s} \quad \dots \dots \dots \quad (3.50)$$

dimana,

$R$  = radius ampplop korona, meter

$h_t$  = tinggi kawat diatas tanah pada menara, meter

$V$  = tegangan yang diterapkan pada kawat, kV

$E_0$  = batas *gradient* korona, dibawah mana amplop korona tidak dapat lagi timbul, biasanya diambil 1500 kV/m

Untuk perhitungan lompatan api balik (*back flashover*) besar tegangan yang diterapkan V diambil 1,8 kali tegangan lompatan api isolator pada 2  $\mu$ det. Besar tegangan lompatan api dari rentengan isolator dapat diperoleh dengan persamaan :

$$V_{50\%} = \left( K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \right) \times 10^3 \text{ kV} \quad \dots \dots \dots \quad (3.51)$$

dimana,

$$K_1 = 0,4 \text{ W}$$

$$K_2 = 0,71 \text{ W}$$

W = panjang rentengan isolator, meter

t = waktu tembus atau waktu lompatan api isolator,  $\mu$ det.

### 3.5.1. Impedansi Surja Kawat

Radius efektif dari kawat tunggal adalah harga rata-rata geometris dari radius kawat tanpa korona dan dengan korona. Jadi impedansi surja dari kawat tunggal dengan memperhitungkan pengaruh korona adalah :

$$Z_{en} = 60 \sqrt{\ln \frac{2h_t}{r} \ln \frac{2h_t}{R}} \quad \dots \dots \dots \quad (3.52)$$

dimana,

$Z_{en}$  = impedansi surja sendiri kawat n, ohm

$h_t$  = tinggi kawat diatas tanah pada menara, meter

r = radius kawat, meter

R = radius amplop korona, meter

Impedansi surja bersama antara kawat fasa dengan kawat tanah dan impedansi surja bersama antara kedua kawat tanah adalah,

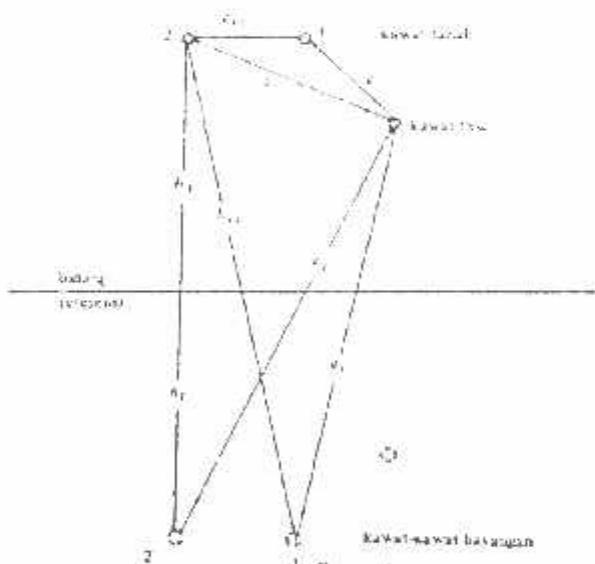
$$Z_{\text{p1}} = 60 \ln \frac{a_1}{a'_1} \text{ ohm} < 0 \quad \dots \dots \dots \quad (3.53)$$

$$Z_{\text{a2}} = 60 \ln \frac{a_2}{a'_2} \text{ ohm} \quad \dots \dots \dots \quad (3.54)$$

$$Z_{12} = 60 \ln \frac{b_{12}}{a_{12}} \text{ ohm} \quad \dots \dots \dots \quad (3.55)$$

dimana,

$a_1, a'_1, a'_2, b_{12}$  dan  $a_{12}$  = jarak-jarak seperti diberikan dalam gambar 3.4;



Gambar 3.4. Gambar Potongan Saluran Transmisi<sup>[3]</sup>

Sehingga impedansi surja ekivalen dari 2 kawat tanah adalah :

$$Z_{\text{gekl}} = \frac{Z_{11} + Z_{22} + Z_{12}}{4} \quad \dots \dots \dots \quad (3.56)$$

atau

$$Z_{\text{ekl}} = \frac{1}{4}(Z_{11} + Z_{22} + 2Z_{12}) \quad \dots \dots \dots \quad (3.57)$$

dimana,

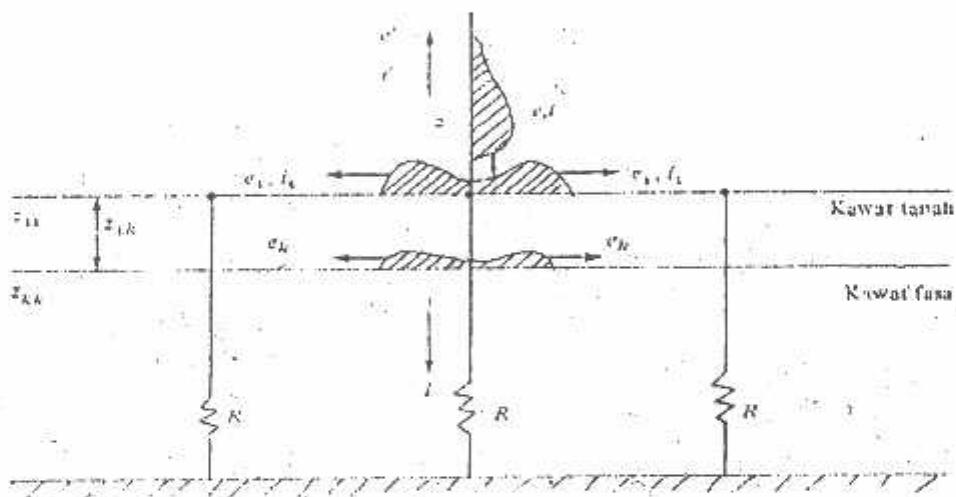
$Z_{\text{geki}}$  = impedansi surja sendiri ekivalen dari kedua kawat tanah, ohm

$Z_{11}$  = impedansi surja sendiri kawat tanah 1, ohm

$Z_{22}$  = impedansi surja sendiri kawat tanah 2, ohm

$Z_{12}$  = impedansi surja bersama antara kawat tanah 1 dan 2, ohm

### 3.6. Sambaran Langsung Pada Menara<sup>[3]</sup>



Gambar 3.5. Gelombang berjalan pada kawat tanah<sup>[3]</sup>

Sambaran langsung pada menara transmisi akan menyebabkan kenaikan tegangan yang dapat menyebabkan terjadinya *back flashover* dan akan mengakibatkan arus yang besar mengalir ke tanah juga sepasang gelombang berjalan merambat pada kawat tanah, seperti pada gambar di atas.

Gelombang  $e_1$  merambat pada kawat tanah dan gelombang induksi  $e_k$  merambat pada kawat fasa.

Keterangan pada gambar :

$Z$  = Impedansi surja dari kanal kilit.  
 $Z_{11}$  = impedansi surja sendiri dari kawat tanah ekivalen.  
 $Z_{kk}$  = Impedansi surja sendiri kawat fasa k.  
 $Z_{ik}$  = Impedansi surja bersama antara kawat tanah ekivalen dengan kawat fasa k.  
 $e$  = Gelombang datang dari sambaran petir.  
 $e'$  = Gelombang pantulan pada kanal sambaran petir.  
 $e_1$  = Gelombang dating pada kawat tanah.  
 $e_k$  = Gelombang datang pada kawat fasa k.  
 $R$  = Tahanan kaki menara.  
 $I$  = Arus menara.

Karena tidak ada arus yang mengalir dari menara ke kawat fasa, maka :

dimana,

$$i = e/\hbar$$

$$i' = -e'/Z$$

maka substitusi dari harga-harga tersebut pada persamaan 3.58 :

$$e/Z - e'/Z = 2 e_1/Z_{11} + e_1/R \dots \quad (3.61)$$

attau,

$$\frac{e + e - e_1}{Z} = \frac{2e_1}{Z_{11}} + \frac{e_1}{R}$$

$$e_1 \left( \frac{1}{R} + \frac{Z}{Z_{11}} + \frac{1}{Z} \right) = 2e/Z$$

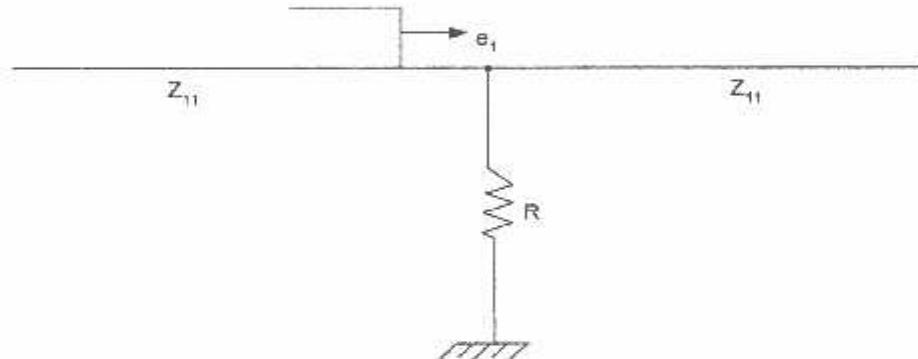
jadi,

$$e_1 = \frac{2.R.Z_{11}}{2.Z.R + Z_{11}(R+Z)} e \quad (3.62)$$

Gelombang mula pada kawat fasa k ialah :

$$e_k = Z_{1k} i_k = \frac{Z_{1k}}{Z_{11}} e_1 = e_1 \quad (3.63)$$

Ketika gelombang  $e_1$  dan  $e_k$  mencapai menara berikutnya, mereka dipantulkan dan diteruskan.



**Gambar 3.6. Suatu kawat diketanahkan dengan tahanan R<sup>[3]</sup>**

Solusi dari tiap gelombang pantulan tegangan hanya tergantung dari gelombang datang  $e_1$  pada kawat tanah dan tidak tergantung dari gelombang datang pada kawat fasa. Gelombang-gelombang pantulan dan terusan dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$e_1' 2R = -Z_{11} (e_1 + e_1') \quad (3.64)$$

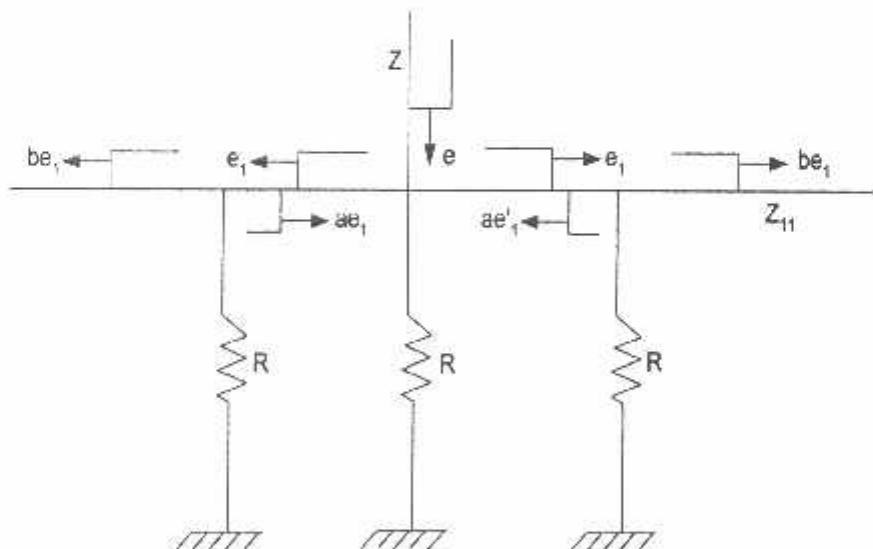
$$e_1' (2R + Z_{11}) = -Z_{11} e_1 \quad (3.65)$$

$$e_1 = -\frac{Z_{11}}{2R + Z_{11}} e_1 = \alpha e_1. \quad \dots \dots \dots \quad (3.66)$$

$$e^+ = e + e_1 = \frac{2R}{2R + Z_{11}} e_1 = b e_1 \dots \quad (3.67)$$

Untuk kawat fasa,

Jadi seluruh gelombang pantulan dan terusan hanya tergantung dari gelombang  $e_1$ . Bila gelombang mula mencapai menara yang lain, mereka dipantulkan dan diteruskan menurut persamaan 3.66 sampai 3.69. Gelombang pantulan yang sampai ke menara pertama dari titik pantulan, dipantulkan kembali, dan proses ini akan terjadi berulang-ulang seperti digambarkan pada gambar 3.7 :



Gambar 3.7. Gelombang Pantulan Dan Terusan Pada Kawat Tanah<sup>[3]</sup>

Gelombang pantulan yang datang dari kanan ke menara 1 adalah  $a_1$ , dan dipantulkan pada menara tersebut. Koefisien pantulan adalah :

$$\frac{Z_0 - Z_{11}}{Z_0 + Z_{11}} = \frac{\frac{RZ \cdot Z_{11}}{RZ + Z_{11}(R+Z)} - Z_{11}}{\frac{RZ \cdot Z_{11}}{RZ + Z_{11}(R+Z)} + Z_{11}}$$

$$= \frac{-Z_{11}(R+Z)}{2RZ + Z_{11}(R+Z)} \dots \quad (3.70)$$

Koefisien terusan pada menara 1 adalah :

$$1 - \frac{-Z_{11}(R+Z)}{2RZ + Z_{11}(R+Z)} = \frac{2RZ}{2RZ + R_{11}(R+Z)} \dots \quad (3.71)$$

Jadi gelombang yang merambat ke kanan atau ke kiri dari menara 1 merupakan superposisi dari gelombang pantulan dan gelombang terusan pada menara 1 adalah :

$$\frac{2RZ - Z_{11}(R+Z)}{2RZ + Z_{11}(R+Z)} = \alpha e_1 = \alpha e_1 \dots \quad (3.72)$$

Untuk gelombang pada kawat fasa,

$$e_i - \frac{-Z_{ik}(R+Z)}{2RZ + Z_{11}(R+Z)}ae_1 = e_k + \beta e_1 \dots \quad (3.73)$$

## BAB IV

### ANALISIS PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI 150 KV DENGAN METODE COUNTERPOISE, ROD DAN GABUNGAN PADA G.I. SENGKALING – G.I. KEBONAGUNG

#### 4.1. Data Saluran Transmisi 150 kV SUTT G.I. Sengkaling Malang

##### 4.1.1. Menara

1. Tegangan kerja	: 150 KV
2. Jumlah menara	: 49 (15,100 km)
3. Jarak menara (span)	: 350 m
4. Tinggi menara	: 31,7 m
5. Sudut perisaihan	: 20°
6. Jarak kawat tanah dengan fasa (r)	: 5 m
7. Andongan span standard (do)	: 5,81 m
8. Andongan konduktor	: 7,73 m
9. Jarak maks antar fasa horizontal	: 7 m
10. IKL	: 275

##### 4.1.2. Konduktor

1. Jumlah Sirkuit	: 2
2. Jenis konduktor	: ACSR / AW 240 mm <sup>2</sup>
3. Berat konduktor	: 1.042 kg/m
4. Diameter	: 22,4 mm

##### 4.1.3. Kawat tanah

1. Jenis kawat tanah	: AW 55 mm <sup>2</sup>
2. Diameter	: 9,6 mm
3. Berat kawat tanah	: 0,3347 kg/m
4. Jumlah kawat tanah	: 2

#### 4.1.4. Isolator

1. Panjang isolator	: 1,75 m
2. Jumlah piringan	: 12

#### 4.1.5. Pentanahan kaki menara

##### 4.1.5.1. Pentanahan Rod

1. Diameter	: 0,01 m
2. Panjang per elektroda	: 6 m

##### 4.1.5.2. Pentanahan Counterpoise

1. Diameter	: 0,01 m
2. Panjang per elektroda	: 8,75 m
3. Dalam pentanahan	: 0,8 m

#### 4.1.6. Data pentanahan pada G.I. Sengkaling

1. Diameter pentanahan	: 0,0175 m
2. Luas grounding grid	: 25954,5 m <sup>2</sup>
3. Tahanan jenis tanah	: 74,2 Ω-m
4. Kedalaman pentanahan	: 5,75 m
5. Jarak antar konduktor	: 14 m
6. Jumlah mesh	: 40

#### **4.2. Saluran Transmisi 150 KV G.I. Sengkaling - G.I. Kebonagung Dengan Menggunakan Dua Kawat Tanah**

Dalam penyaluran tenaga listrik dari Sengkaling - Kebonagung atau sebaliknya terdapat 49 buah menara transmisi dimana jarak antar menara atau span adalah 350 m dengan tipe seperti dibawah ini ;

**Tabel 4.1  
Jenis dan ukuran menara**

Tipe Menara	Tinggi Menara (meter)	Jarak kawat tanah (meter)	Jarak kawat fasa (meter)	Lebar kaki Menara (meter)
AA	33,3	7	7,2	5
BB	31,7	6,8	7	5,4
CC	31,7	6,8	7	5,4
DD	31,7	6,8	7	5,4

Agar penyaluran tenaga listrik lebih terjaga kontinuitasnya maka dalam perlindungan terhadap sambaran petir pada saluran transmisi dilakukan dengan memasang dua kawat tanah diatas kawat fasa dengan panjang saluran 15,1 km dengan konduktor ACSR Hawk dan kawat tanah jenis AW 55 mm<sup>2</sup> dengan diameter 9,6 mm.

#### **4.3. Metode Pentanahan Pada Kaki Menara Transmisi 150 KV**

Pantanahan kaki menara yang digunakan adalah pantanahan dengan sistem Counterpoise dengan empat batang elektroda pentanahan yang masing-masing terdapat pada kaki menara dan juga pantanahan Rod dengan empat elektroda pentanahan yang tertanam di dalam tanah, apabila tahanan kaki menara masih

tinggi (menurut literatur lebih dari 10 ohm tetapi PLN menetapkan tidak boleh kurang dari 5 ohm) maka dibuatlah pentanahan gabungan antara Rod dan Counterpoise pada kaki menara tersebut.

**Tabel 4.2  
Ukuran pentanahan**

Metode Pentanahan Menara	Jenis Kawat	Ukuran Kawat ( $\text{mm}^2$ )	Berat (kg/m)	Panjang (meter)	Kedalaman (meter)	Harga Kawat (Rp/m)
Rod	Tembaga	50	0,55	24	0,8	119.000
Counterpoise	BC	50	0,454	35	0,8	26.818

#### 4.4. Perhitungan Luas Bayang-bayang Kawat Tanah

Lebar bayang-bayang listrik pada saluran transmisi dapat dihitung dengan persamaan 3.33 :

$$b = \frac{(b_{AC} + b_{AB} + b_{CB} + b_{DB})}{4}$$

$$= \frac{(7 + 6,8 - 6,8 + 6,8)}{4}$$

$$= 6,85 \text{ m.}$$

pada tanah bergelombang,

$$h = h_t$$

$$= \frac{(33,3 - 31,7 + 31,7 + 31,7)}{4}$$

$$= 32,1 \text{ m.}$$

maka,

$$W = \left( b + 4h^{1,00} \right)$$

$$= (6,85 + 4,32,1^{1,09})$$

$$= 182,3 \text{ m.}$$

maka luas bayang-bayang untuk 15,1 km panjang saluran transmisi antara G.I. Sengkaling - Kebonagung dapat dihitung dengan persamaan 3.37 :

$$A = 15,1(\text{km})x(b + 4h^{1,09}) \times 10^{-3} (\text{km})$$

$$A = 0,0151(b + 4h^{1,09})$$

$$= 0,0151(6,85 + 4,32,1^{1,09})$$

$$= 0,0151(182,3)$$

$$= 2,7527 \text{ km}^2$$

#### 4.5. Perhitungan Jumlah Sambaran dan Gangguan Kilat pada Menara

##### 4.5.1. Jumlah Sambaran Kilat

Dengan menggunakan persamaan 3.40 dapat kita hitung :

$$N_L = NxA$$

$$N = 0,15xIKL$$

$$= 0,15 \times 275$$

$$= 41,25$$

$$N_L = 41,25 \times 2,7527$$

$$= 113,5494 \text{ sambaran per 15,1 km per tahun}$$

dan probabilitas lompatan api :

$$P_{rl} = e^{-\frac{l_0}{34}}$$

$$V_{load} = I_0 \geq V_{50\%}$$

$$d^4 = \sqrt{h^2 + d^2}$$

dengan persamaan 3.46 maka,

$$= 532 \text{ cm} = 5,32 \text{ m}$$

$$P = 500 / \cos 20^\circ$$

$$P \times \cos 20^\circ = 500 \text{ cm}$$

$P$  = jarak kawat tanah dan kawat lasa

dimana,

$$= 5,88 \text{ m}$$

$$= 30,6475 - 24,7675$$

$$= \left( 32,1 - \frac{5,81}{4} \right) - \left( 26,7 - \frac{7,73}{4} \right)$$

$$\left( h_i - \frac{d_o}{4} \right) - \left( h_i - \frac{d_o}{4} \right) = b$$

Dengan menggunakan persamaan 3.44 didapatkan :

#### 4.5.2. Gangguan Kilat pada Sempadan jarak dari Menara

$$= 37,9312 \text{ gangguan per tahun.}$$

$$= 0,85 \times 0,6 \times 113,5494 \times 0,655$$

$$N' = 0,85 \times 0,6 \times N \times P_{\text{ta}}$$

Maka dengan persamaan 3.42 :

$$= 0,655$$

$$P_{\text{ta}} = e^{-\frac{t}{14,39}}$$

$$I_0 = 14,39 \text{ KA}$$

$$100 I_0 = 1439 \text{ KV}$$

$$\log \phi = \frac{90}{\theta \sqrt{h}} - 4$$

Dengan menghitungkan persamaan yang diberikan pada persamaan 3.48 :

#### 4.5.4. Gangguan Kilitat Karuna Kegagalan Persiapan

$$= 0,8292 \text{ gangguan per tahun}$$

$$N_m = 8,2917 \times 0,1$$

$$= 8,2917$$

$$= \sqrt{6,36^2 + 5,32^2}$$

$$d'' = \sqrt{q''_x + p''_z}$$

maka dengan persamaan 3.47 :

$$= 6,36 \text{ m}$$

$$= 29,195 - 22,835$$

$$= \left( 32,1 - \frac{5,81}{2} \right) - \left( 26,7 - \frac{7,73}{2} \right)$$

$$q'' = \left( h' - \frac{p''}{2} \right) - \left( h' - \frac{p''}{2} \right)$$

Dengan persamaan 3.45 :

#### 4.5.3. Gangguan Kilitat pada Setengah Jarak dari Mencara

$$= 2,3788 \text{ gangguan per tahun}$$

$$N^y = 7,9295 \times 0,3$$

$$= 7,9295$$

$$= \sqrt{5,88^2 + 5,32^2}$$

$$A = \sqrt{2a^2 d_1^2}$$

dengian persamaan 2.5 :

$$R = \frac{\rho}{2\pi d} \ln \frac{A}{2L}$$

tehanan jenis tanah  $p = 100$  Q-m (savah / tanah garapan) dengian persamaan 2.2 :

Sistem penetahanan Rod dengian empat elektroda penetahanan dengian

#### 4.6.1. Perhitungan Dengian Penetahanan Rod

##### 4.6. Perhitungan Tahuan Kaki Menara

pada jarak yang kecil.

rendah agar tidak terjadi lompatan api pada isolator dan membantasi gangguan

sistem penetahanan yang repeat pada menara dengian tanah kaki menara yang

Dengian tingginya jumlah gangguan yang terjadi maka sangat diperklikan

$$= 83,6067 \text{ gangguan per tahun}$$

$$= 42,4675 + 37,9312 + 2,3788 + 0,8292$$

$$N^o = N^{SF} + N^i + N^d + N^m$$

Maka jumlah gangguan kilat pada SUTT sesuai dengian persamaan (3.32) :

$$= 42,4675 \text{ gangguan per tahun}$$

$$= 0,44 \times 113,5494 \times 0,85$$

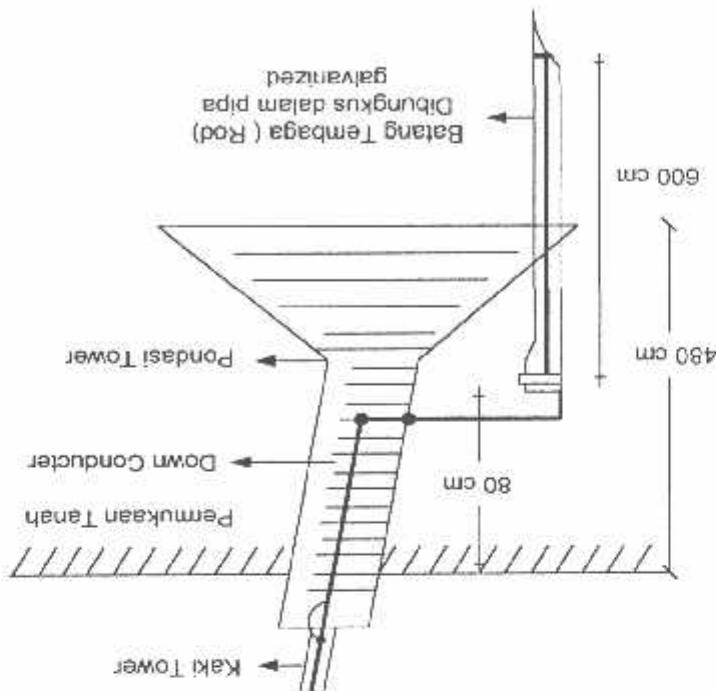
$$N^{SF} = \phi \cdot N^i \cdot n$$

maka,

$$= 0,44$$

$$= \frac{90}{20 \sqrt{32,1}} - 4$$

Gambar 4.1. Penampang Salah Satu Kali Menara



$$= 2,5494 \Omega$$

$$= 0,6631 \ln(46,73)$$

$$R_s = \frac{100}{2,24} \ln \frac{2,24}{1,0272}$$

$$= 1,0272 \text{ m}$$

$$A = \pi \sqrt{(2,0^2 - 1,5^2) \cdot 0,005}$$

maka

$$r = \text{jari-jari baling elektroda} = D/2 = 0,01/2 = 0,005 \text{ m}$$

$$D = \text{Diameter baling elektroda} = 0,01 \text{ m}$$

$$a = \text{jarak antar elektroda} = 3,4 \text{ m}$$

$$l_1 = \text{Panjang elektroda yang terpanam dalam tanah (Al,)} = 24 \text{ m}$$

diameter

#### 4.6.2. Perhitungan Dengan Pentanahan Counterpoise

Sistem pentanahan Counterpoise dengan empat elektroda pentanahan dengan tahanan jenis tanah  $\rho = 100 \Omega\text{-m}$  (sawah / tanah garapan) dengan persamaan 2.9 :

$$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2,912 - 1,071 \frac{s}{L} + 0,645 \frac{s^2}{L^2} - 0,145 \frac{s^4}{L^4} \right)$$

dimana,

$$L = \text{Panjang kawat elektroda } (4L_t) = 35 \text{ m}$$

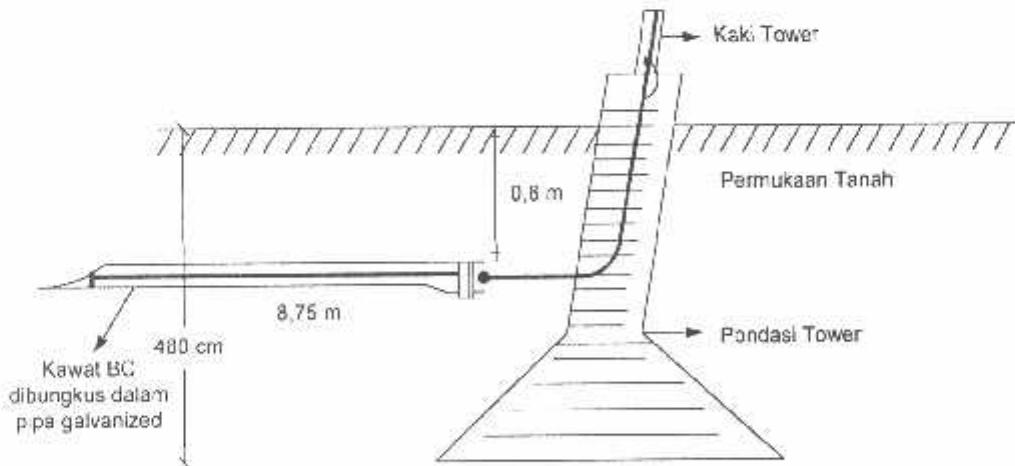
$$S = \text{Dalam penanaman} = 0,8 \text{ m}$$

$$D = \text{Diameter Kawat elektroda} = 0,01 \text{ m}$$

$$a = \text{Jari-jari kawat elektroda} = 0,01/2 = 0,005 \text{ m}$$

maka,

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{100}{8,314,35} \left( \ln \frac{2,35}{0,005} + \ln \frac{2,35}{0,8} + 2,912 - 1,071 \frac{0,8}{35} + 0,645 \frac{0,8^2}{35^2} - 0,145 \frac{0,8^4}{35^4} \right) \\ &= \frac{100}{879,2} (16,9) \\ &= 1,9219 \Omega \end{aligned}$$

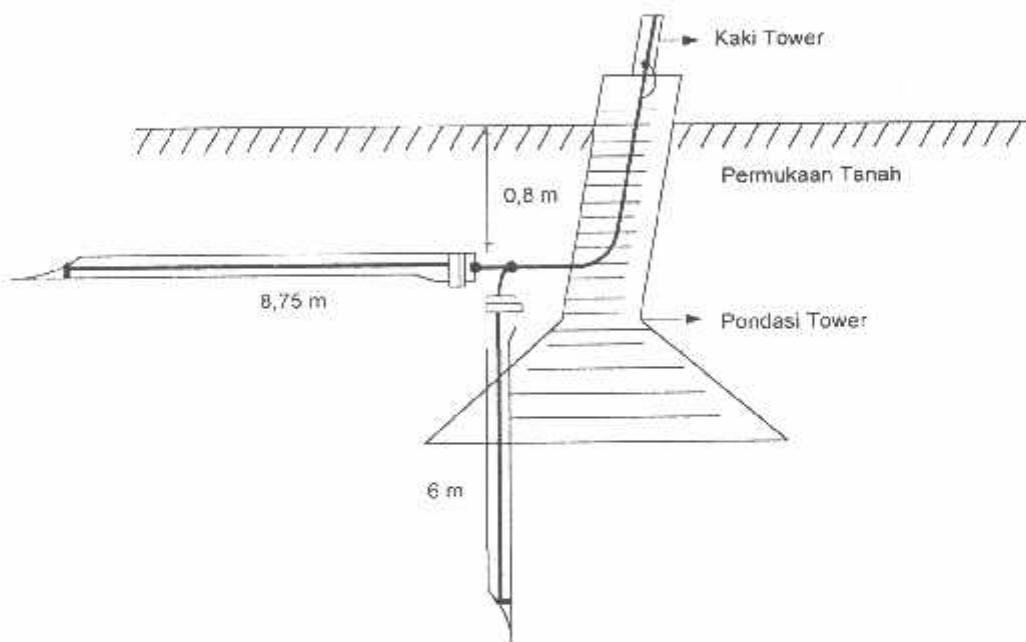


Gambar 4.2. Counterpoise Pada Salah Satu Kaki Menara

#### 4.6.3. Perhitungan Dengan Pentanahan Rod dan Counterpoise (Gabungan)

Sistem pentanahan Gabungan dengan empat elektroda pentanahan dengan tahanan jenis tanah  $\rho = 100 \Omega\text{-m}$  dengan memakai persamaan 2.10 :

$$R_g = \frac{R_r * R_c}{R_r + R_c}$$
$$= \frac{2,5494 * 1,9219}{2,5494 + 1,9219}$$
$$= 1,0958 \Omega$$



Gambar 4.3. Metode Gabungan Pada Salah Satu Kaki Menara

#### 4.7. Perhitungan Tahanan Pada Pentanahan Gardu Induk

Pada Gardu Induk Sengkaling pentanahan yang digunakan adalah pentanahan kisi-kisi atau pentanahan Grid, sehingga berdasarkan persamaan 2.14 :

$$R_{rod/2} = \rho \left( \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{1}{N \cdot \Delta l} \left( \frac{1}{2\pi} \ln \frac{0,165 \Delta l}{d_0} \right) \right) \left( 1 - \frac{2h}{\sqrt{A}} \right) 1,128$$

di mana :

$$d_0 = 0,0175 \text{ m}$$

$$h = 5,75 \text{ m}$$

$$\rho = 74,2 \Omega \cdot \text{m}$$

$$\Lambda = 25,954,5 \text{ m}^2$$

$$N = 40$$

$$\Delta I = 14$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} R_{bad,t/2} &= 74,2 \left( \frac{1}{4} \sqrt{\frac{3,14}{25954,5}} + \frac{1}{40 \cdot 14} \left( \frac{1}{2,3,14} \ln \frac{0,165 \cdot 14}{0,0175} \right) \right) \left( 1 - \frac{2,5,75}{\sqrt{25954,5}} \times 1,128 \right) \\ &= 74,2 \left[ \frac{1}{4} (0,010999) + 1,786 \cdot 10^{-3} (0,77752) \right] (0,9194806) \\ &= 74,2 (2,74975 \cdot 10^{-3} + 1,38865 \cdot 10^{-3}) (0,9194806) \\ &= 74,2 (4,0967 \cdot 10^{-3}) (0,9194806) \\ &= 0,2795 \Omega \end{aligned}$$

Sehingga tahanan pentanahan pada Gardu Induk ( $R_k$ ) adalah  $0,2795 \Omega$  dan dengan berdasarkan pada tabel 1 yaitu perbandingan atau hubungan antara arus puncak kilat dan sering terjadinya kilat maka dapat diketahui arus kilat  $I_0 = 60 \text{ kA}$ .

#### 4.8. Menghitung Besar Distribusi Arus Gangguan Bila Terjadi Sambaran

Petir Pada Puncak Menara Dekat Gardu Induk Dengan Arus Puncak

60 kA

» Menghitung besarnya faktor kopling

Dengan persamaan 3.2 :

$$\mu = \frac{\log(b/a)}{\log\left(\frac{2h}{r'}\right)}$$

dimana,

$$ax \cos 20^\circ = 500 \text{ cm}$$

$$a = \frac{500}{\cos 20^\circ}$$

$$= 532 \text{ cm} = 5,32 \text{ m}$$

$$h = 32,1 \text{ m}$$

$$r' = 9,6/2 \text{ mm}$$

$$= 0,0048 \text{ m}$$

$$b = \sqrt{(2h_r)^2 + a_{12}^2}$$

$$= \sqrt{(2,32,1)^2 + 6,85^2}$$

$$= 64,56 \text{ m}$$

maka,

$$\mu = \frac{\log(64,56/5,32)}{\log\left(\frac{2,32,1}{0,0048}\right)}$$

$$= \frac{\log 12,14}{\log 13375}$$

$$= 0,2627$$

» Menghitung Impedansi Sendiri Kawat Tanah

Dengan persamaan 3.30 :

$$\rho = \frac{1}{58} \times \frac{100}{0,1}$$

$$= 17,24 \mu\Omega \text{ cm}$$

maka resistansi kawat tanah :

$$R_s = \frac{\rho d}{A}$$

$$= \frac{17,24 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5}{55 \cdot 10^{-2}}$$

$$= 3,13 \Omega/\text{km}$$

$$= 1,942 \Omega/\text{mi}$$

$$\text{GMR} = 2,1767 \cdot r$$

$$= 2,1767 \cdot 4,8$$

$$= 10,45 \text{ mm}$$

$$= 0,01045 \text{ m}$$

$$= 0,0343 \text{ ft}$$

maka dengan persamaan 3.31 :

$$Z_g = R_s + 0,0953 + j0,12134x \left[ \ln \left( \frac{1}{GMR} \right) + 7,934 \right] \frac{\Omega}{mi}$$

$$= 1,942 + 0,0953 + j0,12134x \left[ \ln \left( \frac{1}{0,0343} \right) + 7,934 \right] \frac{\Omega}{mi}$$

$$= 1,942 + 0,0953 + j0,12134 \times 11,306 \frac{\Omega}{mi}$$

$$= 2,0373 + j1,3718 \frac{\Omega}{mi}$$

$$= 3,278 + j2,207 \frac{\Omega}{km}$$

» Menghitung Tegangan Lompatan Api Kritis

Dengan menggunakan persamaan 3.51 :

$$\begin{aligned}V_{50\%} &= \left( K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \right) \times 10^3 \text{ kV} \\&= \left( 0,4 \times 1,75 + \frac{0,71 \times 1,75}{2^{0,75}} \right) \times 10^3 \\&= (0,7 \times 0,74) \times 10^3 \\&= 1439 \text{ kV}\end{aligned}$$

Tegangan yang diterapkan V pada isolator adalah :

$$\begin{aligned}V &= 1,8 \times V_{2\mu\text{det}} \\&= 1,8 \times 1439 \\&= 2590 \text{ kV}\end{aligned}$$

» Menghitung Radius Korona Kawat Tanah

Dengan menggunakan persamaan 3.50 :

$$R \ln \left( \frac{2h_t}{R} \right) = \frac{V}{E_0}$$

$$R \ln \left( \frac{2,32,1}{R} \right) = \frac{2590}{1500}$$

$$R = 0,327 \text{ m}$$

» Menghitung Impedansi Surja Satu Kawat Tanah

Dengan persamaan 3.52 :

$$Z_m = 60 \sqrt{\ln \frac{2h_t}{r} \ln \frac{2h_t}{R}}$$

maka,

$$Z_{11} = Z_{22} = 60 \sqrt{\ln \frac{2,32,1}{0,0048} \ln \frac{2,32,1}{0,327}}$$

$$= 60 \sqrt{9,5 \times 5,28}$$

$$= 424,95 \Omega$$

» Menghitung Impedansi Surja Ekivalen antara Kedua Kawat Tanah

Dengan persamaan 5.55 :

$$b_{12} = \sqrt{(2h_1)^2 + a_{12}^2}$$

$$= \sqrt{(2,32,1)^2 + 6,85^2}$$

$$= 64,5 \text{ m}$$

$$Z_{12} = 60 \ln \frac{b_{12}}{a_{12}}$$

$$= 60 \ln \frac{64,5}{6,85}$$

$$= 134,60 \Omega$$

jadi,

$$Z_1 = Z_{22} = 424,95 \Omega$$

$$Z_{12} = 134,60 \Omega$$

maka dengan persamaan 3.57 :

$$Z_{ek} = \frac{1}{4}(Z_{11} + Z_{22} - 2Z_{12})$$

$$= \frac{1}{4}(424,95 + 424,95 + 2,134,60)$$

$$= 280 \Omega$$

#### 4.8.1. Menghitung Distribusi Arus Gangguan Kilat Pada Menara Dekat Gardu Induk Dengan Tahanan Kaki Menara Menggunakan Pentanahan Rod

» Menghitung Impedansi Jaringan Menara

Dengan menggunakan persamaan 3.23 :

$$Z\infty = \sqrt{Z_g \cdot R_t (1 - \mu)}$$

dimana,

$$Z_g = 3,278 \Omega/\text{km}$$

$$R_t = 2,5494 \Omega$$

$$\mu = 0,2627$$

maka,

$$Z\infty = \sqrt{3,278 \times 2,5494} (1 - 0,2627)$$

$$= 2,8908 \times 0,7373$$

$$= 2,1313$$

» Menghitung arus gangguan kilat yang menuju Gardu Induk

Dengan persamaan 3.25 :

$$I_k = I_f \cdot \frac{Z\infty}{R_k + Z\infty}$$

$$= 60000 \cdot \frac{2,1313}{0,2795 + 2,1313}$$

$$= 53044,8 \text{ A}$$

» Menghitung arus gangguan yang menuju jaringan pentanahan menara

Dengan dasar persamaan 3.26 :

$$I_f' = I_f - I_b$$

$$= 60000 - 53044,8$$

$$= 6955,2 \text{ A}$$

$$I_0 = I_f' (1 - e^{-\alpha}) (1 - \mu)$$

$$= I_f' \frac{\sqrt{\frac{Z_g/R_i}{1 + Z_g/4R_i}}}{1 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Z_g/R_i}{1 + Z_g/4R_i}}} (1 - \mu)$$

$$= 6955,2 \cdot \frac{\sqrt{\frac{3,278/2,5494}{1 + 3,278/4,2,5494}}}{1 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3,278/2,5494}{1 + 3,278/4,2,5494}}} (1 - 0,2627)$$

$$= 6955,2 \times 0,487$$

$$= 3387,5 \text{ A}$$

$$I_1 = I_f' - I_0$$

$$= 6955,2 - 3387,5$$

$$= 3567,7 \text{ A}$$

» Menghitung koefisien pantulan gelombang yang datang dari kiri dan pantulan gelombang dari kanan, dengan persamaan 3.66 :

$$e_1' = -\frac{Z_{11}}{2R + Z_{11}} e_1 = \alpha e_1$$

dimana,

$$R = 2,5494 \Omega$$

$$Z_{11} = 140 \Omega$$

maka,

$$a_1 = a_2 = -\frac{Z_{11}}{2R + Z_{11}}$$
$$= -\frac{140}{2.2.5494 + 140}$$
$$= -0,965$$

$$d_1 = d_2 = -0,965$$

- » Menghitung koefisien terusan gelombang yang datang dari kiri dan terusan gelombang dari kanan, dengan persamaan 3.67 :

$$e''_1 = e + e'_1 = \frac{2R}{2R + Z_{11}} e_1 = b e_1$$

maka,

$$b_1 = b_2 = \frac{2.2.5494}{2.2.5494 + 140}$$
$$= 0,035$$

$$c_1 = c_2 = 0,035$$

- » Menghitung koefisien terusan dan pantulan pada pusat menara

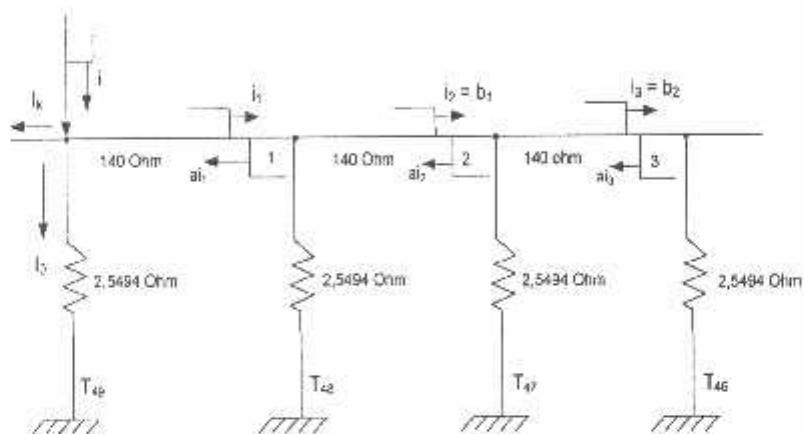
$$d_0 = \frac{2R - Z_{11}}{2R + Z_{11}}$$
$$= \frac{2.2.5494 - 140}{2.2.5494 + 140}$$
$$= -0,929$$

$$c_0 = \frac{2.2R}{2R + Z_{11}}$$

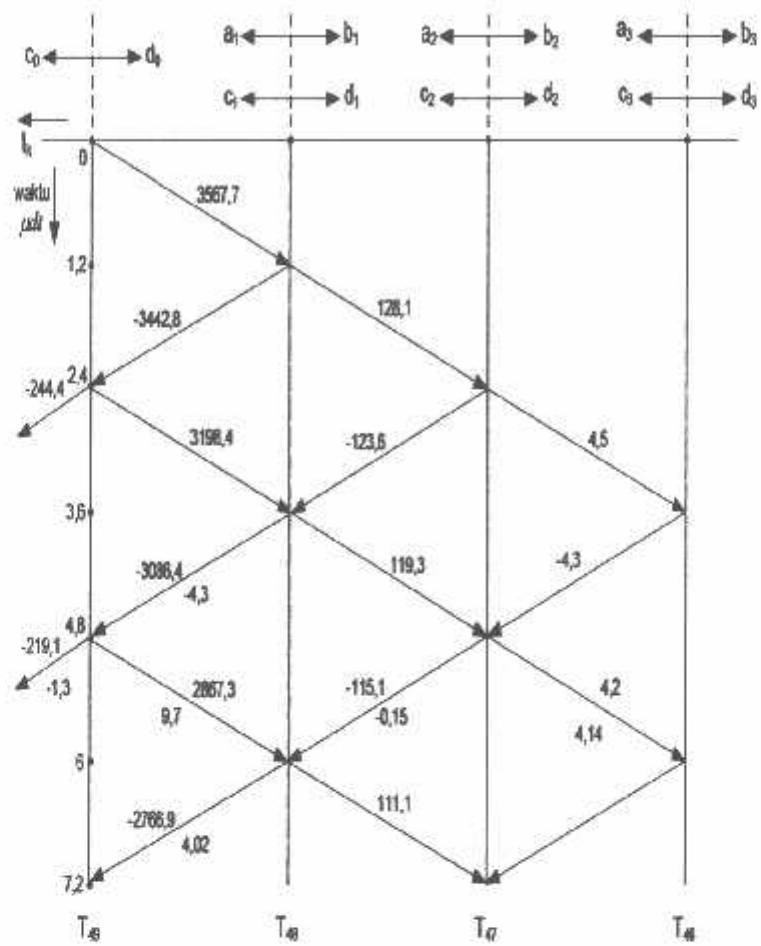
$$= \frac{2.5.0988}{5.0988 + 140}$$

$$= 0,071$$

Dengan menggunakan diagram tangga diperoleh perhitungan seperti gambar ekivalen dibawah ini :



**Gambar 4.4. Gambar Ekivalen Pentanahan Rod Pada Menara**



Gambar 4.5. Gambar Diagram Tangga Distribusi Arus Kilat

Dari diagram tangga diatas terlihat bahwa distribusi arus gangguan kilat pada menara  $T_{49}$ ,  $T_{48}$ ,  $T_{47}$  dan  $T_{46}$  arus kilat akan hampir habis (nol) pada menara  $T_{46}$  dengan waktu 3,6  $\mu$ detik sebesar 4,5 A karena koefisien pantulan dan terusan pada menara.

#### 4.8.2. Menghitung Distribusi Arus Gangguan Kilat Pada Menara Dekat

##### Gardu Induk Dengan Tahanan Kaki Menara Menggunakan Pantanahan Counterpoise

- » Menghitung Impedansi Jaringan Menara

Dengan menggunakan persamaan 3.23 :

$$Z\infty = \sqrt{Z_k R_t} (1 - \mu)$$

dimana,

$$Z_k = 3,278 \Omega/\text{km}$$

$$R_t = 1,9219 \Omega$$

$$\mu = 0,2627$$

maka,

$$Z\infty = \sqrt{3,278 \times 1,9219} (1 - 0,2627)$$

$$= 2,51 \times 0,7373$$

$$= 1,8506$$

- » Menghitung arus gangguan kilat yang menuju Gardu Induk

Dengan persamaan 3.25 :

$$I_k = I_f \cdot \frac{Z\infty}{R_k + Z\infty}$$

$$= 60000 \cdot \frac{1,8506}{0,2795 + 1,8506}$$

$$= 52128 \text{ A}$$

- » Menghitung arus gangguan yang menuju jaringan pantanahan menara

Dengan dasar persamaan 3.26 :

$$I_f' = I_f - I_b$$

$$= 60000 - 52128$$

$$= 7872 \text{ A}$$

$$I_0 = I_f' (1 - e^{-\alpha}) (1 - \mu)$$

$$= I_f' \frac{\sqrt{Z_g/R_i}}{1 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Z_g/R_i}{1 + Z_g/4R_i}}} (1 - \mu)$$

$$= 7872 \cdot \frac{\sqrt{\frac{3,278/1,9219}{1 + 3,278/4,19219}}}{1 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3,278/1,9219}{1 + 3,278/4,19219}}} (1 - 0,2627)$$

$$= 7872 \times 0,52123$$

$$= 4103,1 \text{ A}$$

$$I_1 = I_f' - I_0$$

$$= 7872 - 4103,1$$

$$= 3768,9 \text{ A}$$

- » Menghitung koefisien pantulan gelombang yang datang dari kiri dan pantulan gelombang dari kanan :

$$e_1' = -\frac{Z_{11}}{2R + Z_{11}} e_1 = \alpha e_1$$

dimana,

$$R = 1,9219 \Omega$$

$$Z_{11} = 140 \Omega$$

maka,

$$\begin{aligned}a_1 = a_2 &= -\frac{Z_{11}}{2R + Z_{11}} \\&= -\frac{140}{2,19219 + 140} \\&= -0,973\end{aligned}$$

$$d_1 = d_2 = -0,973$$

- » Menghitung koefisien terusan gelombang yang datang dari kiri dan terusan gelombang dari kanan :

$$e''_1 = e + e_1 = \frac{2R}{2R + Z_{11}} e_1 = b e_1$$

maka,

$$\begin{aligned}b_1 = b_2 &= \frac{2,19219}{2,19219 + 140} \\&= 0,027\end{aligned}$$

$$c_1 = c_2 = 0,027$$

- » Menghitung koefisien terusan dan pantulan pada pusat menara

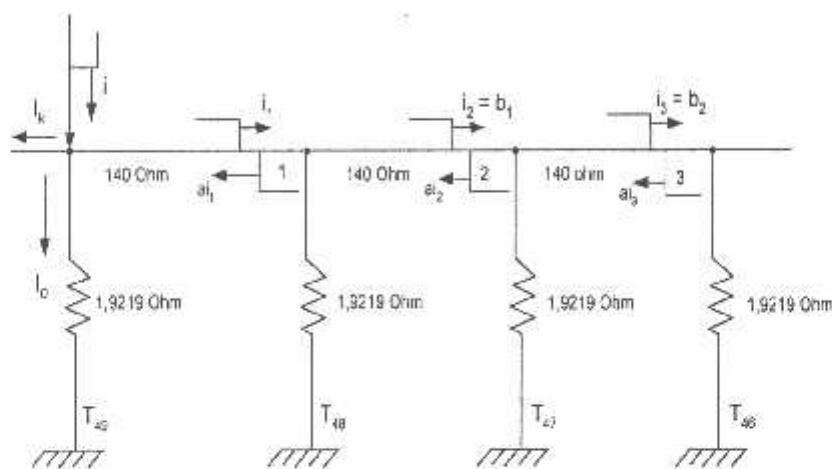
$$\begin{aligned}d_v &= \frac{2R - Z_{11}}{2R + Z_{11}} \\&= \frac{2,19219 - 140}{2,19219 + 140} \\&= -0,946\end{aligned}$$

$$c_0 = \frac{2,2R}{2R + Z_{11}}$$

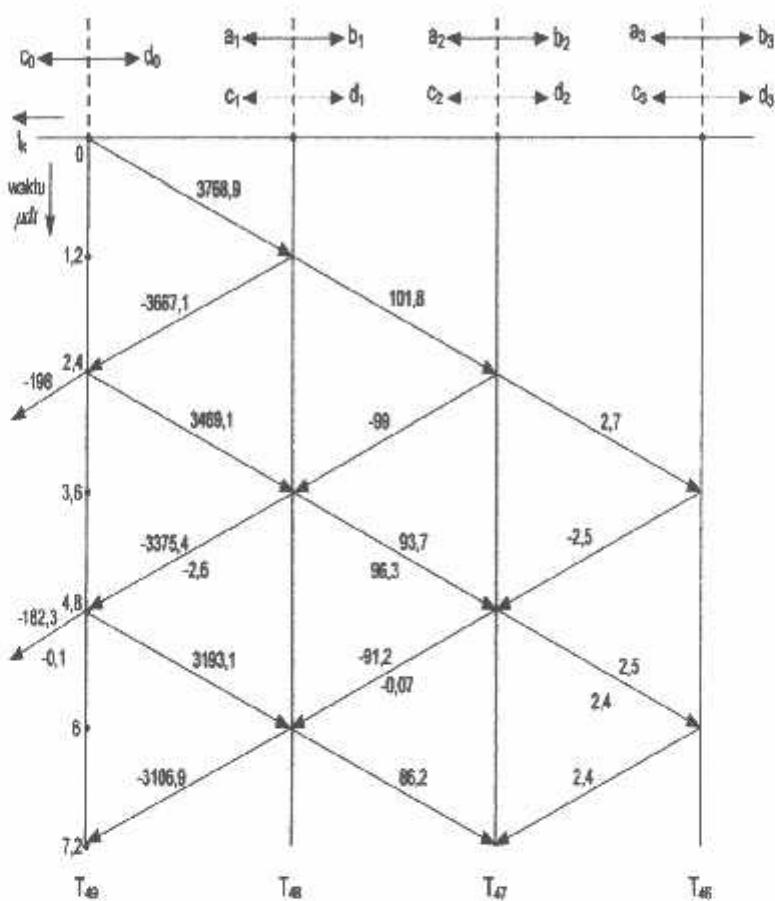
$$= \frac{2.3.844}{3.844 + 140}$$

$$= 0,054$$

Dengan menggunakan diagram tangga diperoleh perhitungan seperti gambar ekivalen dibawah ini :



Gambar 4.6. Gambar Ekivalen Pentanahan Counterpoise Pada Menara



**Gambar 4.7. Gambar Diagram Tangga Distribusi Arus Kilat**

Arus gangguan kilat yang terdistribusi pada menara T<sub>49</sub>, T<sub>48</sub>, T<sub>47</sub>, T<sub>46</sub> akan hampir mendekati nol pada menara T<sub>46</sub> dengan waktu 3,6 μdet sebesar 2,7 A karena koefisien pantulan dan terusan pada menara.

#### 4.8.3. Menghitung Distribusi Arus Gangguan Kilat Pada Menara Dekat Gardu Induk Dengan Tahanan Kaki Menara Menggunakan Pentanahan Gabungan (Rod and Counterpoise)

» Menghitung Impedansi Jaringan Menara

Dengan menggunakan persamaan 3.23 :

$$Z\infty = \sqrt{Z_g \cdot R_i} (1 - \mu)$$

dimana,

$$Z_g = 3,278 \Omega/\text{km}$$

$$R_i = 1,0958 \Omega$$

$$\mu = 0,2627$$

maka,

$$Z\infty = \sqrt{3,278 \times 1,0958} (1 - 0,2627)$$

$$= 1,8953 \times 0,7373$$

$$= 1,3974$$

» Menghitung arus gangguan kilat yang menuju Gardu Induk

Dengan persamaan 3.25 :

$$I_k = I_f \cdot \frac{Z\infty}{R_i + Z\infty}$$

$$= 60000 \cdot \frac{1,3974}{0,2795 + 1,3974}$$

$$= 50000,3 \text{ A}$$

» Menghitung arus gangguan yang menuju jaringan pentahanan menara

Dengan dasar persamaan 3.26 :

$$I_f' = I_f - I_k$$

$$= 60000 - 50000,3$$

$$= 9999,7 \text{ A}$$

$$I_a = I_f \cdot (1 - e^{-\alpha}) (1 - \mu)$$

$$\begin{aligned}
 &= I_f \cdot \frac{\sqrt{\frac{Z_k / R_t}{1 + Z_k / 4R_t}} (1 - \mu)}{1 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Z_k / R_t}{1 + Z_k / 4R_t}}} \\
 &= 9999,7 \cdot \frac{\sqrt{\frac{3,278 / 1,0958}{1 + 3,278 / 4,10958}} (1 - 0,2627)}{1 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3,278 / 1,0958}{1 + 3,278 / 4,10958}}} \\
 &= 9999,7 \times 0,58311 \\
 &= 5830,9 \text{ A} \\
 i_1 &= I_f - I_0 \\
 &= 9999,7 - 5830,9 \\
 &= 4168,8 \text{ A}
 \end{aligned}$$

» Menghitung koefisien pantulan gelombang yang datang dari kiri dan pantulan gelombang dari kanan :

$$e'_1 = -\frac{Z_{11}}{2R + Z_{11}} e_1 = \alpha e_1$$

dimana,

$$R = 1,0958 \Omega$$

$$Z_{11} = 140 \Omega$$

maka,

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \alpha_2 = -\frac{Z_{11}}{2R + Z_{11}} \\
 &= -\frac{140}{2 \cdot 1,0958 + 140}
 \end{aligned}$$

$$= -0,985$$

$$d_1 = d_2 = -0,985$$

- » Menghitung koefisien terusan gelombang yang datang dari kiri dan terusan gelombang dari kanan :

$$\hat{e}_1 = e + \hat{e}'_1 = \frac{2R}{2R + Z_{11}} e_1 = b e_1$$

maka,

$$b_1 = b_2 = \frac{2,1,0958}{2,1,0958+140}$$

$$= 0,015$$

$$c_1 = c_2 = 0,015$$

- » Menghitung koefisien terusan dan pantulan pada pusat menara

$$d_0 = \frac{2R - Z_{11}}{2R + Z_{11}}$$

$$= \frac{2,1,0958 - 140}{2,1,0958 + 140}$$

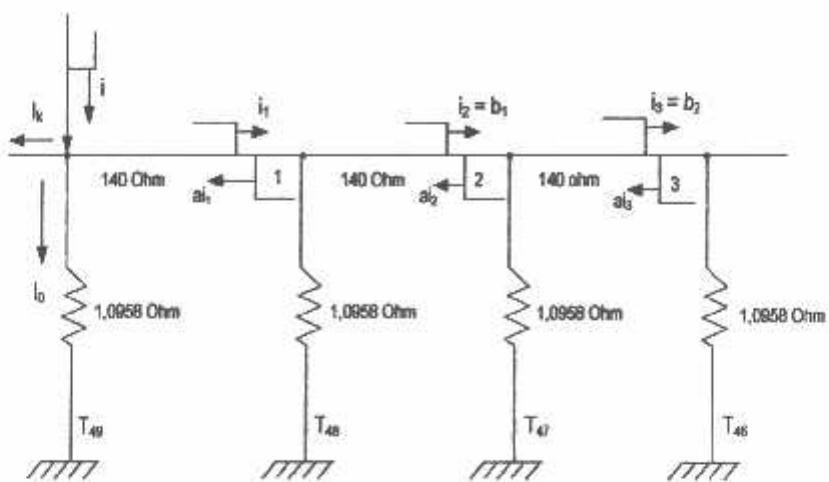
$$= -0,969$$

$$c_0 = \frac{2.2R}{2R + Z_{11}}$$

$$= \frac{2,2,1916}{2,1916 + 140}$$

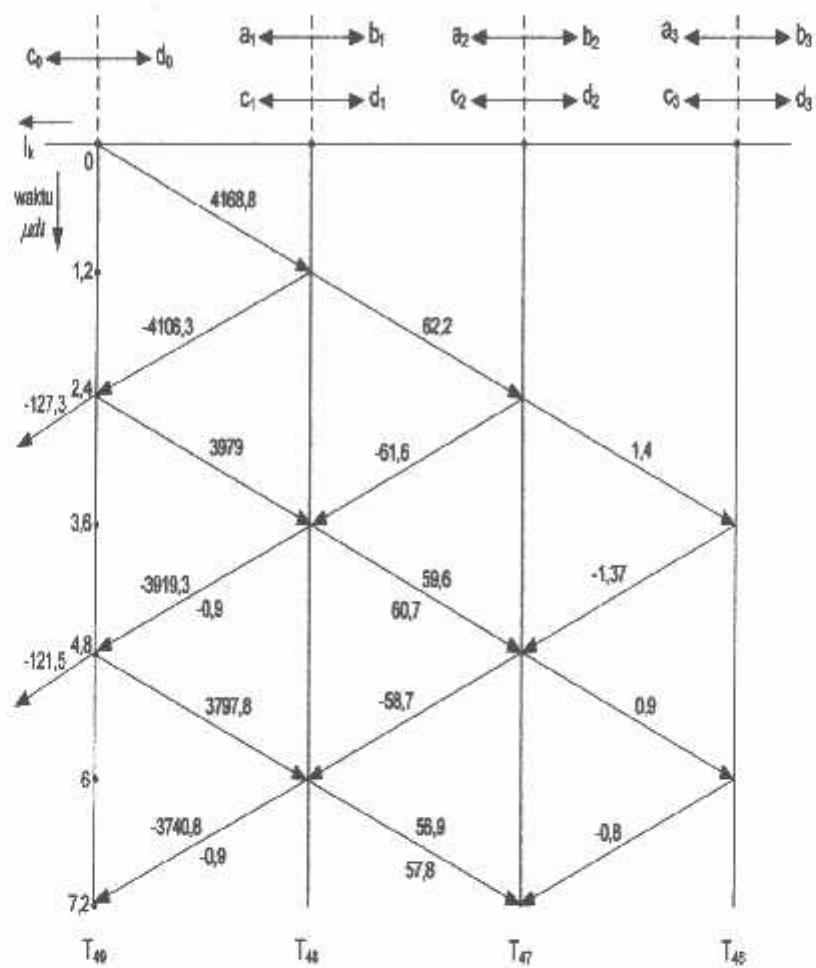
$$= 0,031$$

Dengan menggunakan diagram tangga diperoleh perhitungan seperti gambar ekivalen dibawah ini :



**Gambar 4.8. Gambar Ekivalen Pentanahan Gabungan Pada Menara**

Dengan menggunakan tipe pentanahan Gabungan arus gangguan kilat yang menuju ke menara  $n+1$  menjadi lebih besar dan arus  $I_k$  lebih kecil daripada menggunakan pentanahan Rod dan Counterpoise karena tahanan pentanahannya yang lebih rendah sehingga koefisien terusannya kecil. Seperti terlihat pada diagram tangga pada gambar 4.9 berikut :

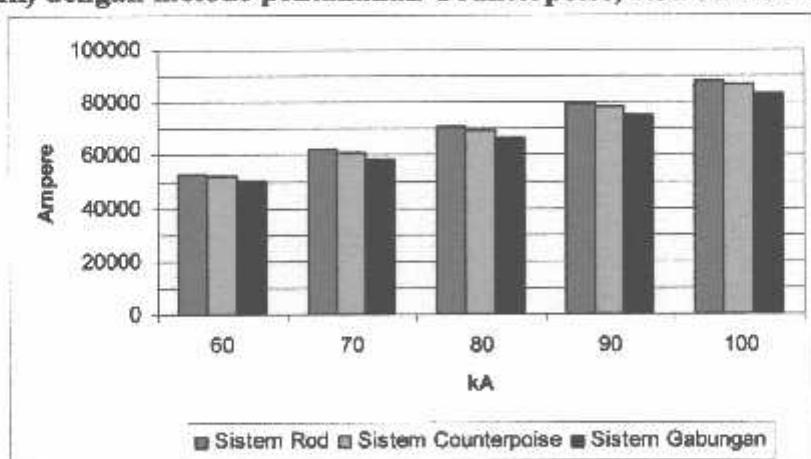


**Gambar 4.9. Gambar Diagram Tangga Distribusi Arus Kilat**

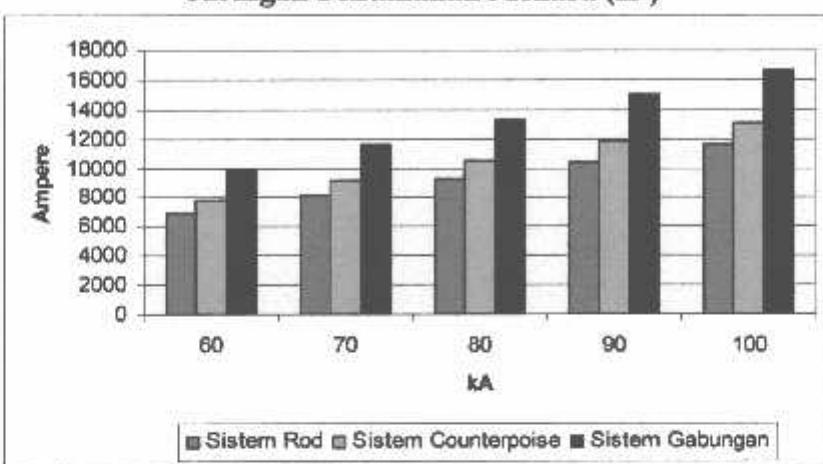
**Tabel 4.3**  
**Perbandingan Hasil Perhitungan**  
**Pentanahan Tipe Rod, Counterpoise dan Gabungan Pada Kaki Menara**

No	Jenis Data	Data Hasil Perhitungan		
		Tipe Rod	Tipe Counterpoise	Tipe Gabungan
1.	Tahanan Kaki Menara ( $R_t$ )	2,5494 $\Omega$	1,9219 $\Omega$	1,0958 $\Omega$
2.	Arus Kilat yang menuju Gardu Induk ( $I_k$ )	53044,8 A	52128 A	50000,3 A
3.	Arus Kilat ke Jaringan Pentanahan Menara ( $I_f$ )	6955,2 A	7872 A	9999,7 A
4.	Arus Kilat ke Pentanahan Menara ( $I_0$ )	3387,5 A	4103,1 A	5830,9 A
5.	Arus Kilat menuju ke Menara n+1 ( $i_1$ )	3567,7 A	3768,9 A	4168,8 A
6.	Koefisien pantulan gelombang	-0,965	-0,973	-0,985
7.	Koefisien terusan gelombang	0,035	0,027	0,015
8.	Koefisien terusan pada pusat menara	-0,929	-0,946	-0,969
9.	Koefisien pantulan pada pusat menara	0,071	0,054	0,031

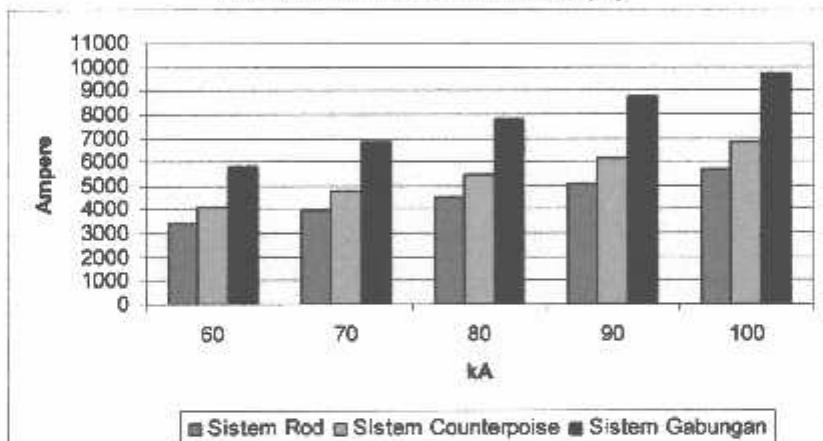
**Grafik 4.1**  
**Perbandingan Distribusi Arus Kilat menuju**  
**G.I ( $I_k$ ) dengan metode pentanahan Counterpoise, Rod dan Gabungan**



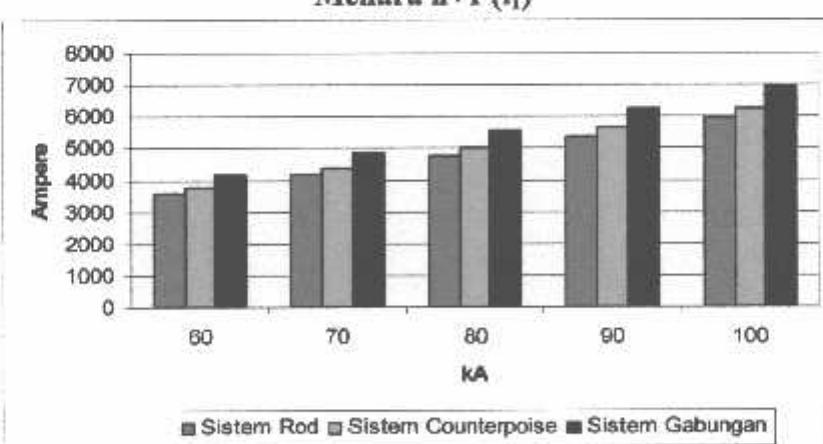
**Grafik 4.2**  
**Perbandingan Distribusi Arus Kilat menuju**  
**Jaringan Pentanahan Menara ( $I_f'$ )**



**Grafik 4.3**  
**Perbandingan Distribusi Arus Kilat menuju**  
**Pentanahan Kaki Menara ( $I_0$ )**



**Grafik 4.4**  
**Perbandingan Distribusi Arus Kilat menuju**  
**Menara n+1 ( $i_1$ )**



## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan :

1. Berdasarkan perhitungan gangguan kilat pada SUTT 150 kV Sengkaling-Kebonagung adalah sebesar 83,6067 gangguan per tahun.
2. Apabila pentanahan yang digunakan adalah sistem pentanahan Rod dengan empat elektroda pentanahan dengan  $\rho = 100 \Omega\text{-m}$  maka besar tahanan kaki menara adalah  $2,5494 \Omega$ . Jika sistem pentanahannya Counterpoise, untuk  $\rho = 100 \Omega\text{-m}$  besar tahanan kaki menara adalah  $1,9219 \Omega$  dan jika menggunakan sistem pentanahan gabungan besar tahanannya adalah  $1,0958 \Omega$ . Sistem pentanahan gabungan ini mempunyai kelemahan dari segi faktor ekonomis yang rendah dan juga biasanya hanya digunakan jika tahanan jenis tanahnya sangat tinggi.
3. # Untuk penggunaan sistem pentanahan Rod dengan tahanan sebesar  $2,5494 \Omega$  dengan arus petir 60 kA ,didapatkan arus yang mengalir menuju Gardu Induk ( $I_k$ ) adalah sebesar 53044,8 A dan arus yang menuju jaringan pentanahan menara sebesar 6955,2 A dengan  $I_0$  sebesar 3387,5 A dan  $i_{n+1}$  ( $i_1$ ) sebesar 3567,7 A.  
# Untuk sistem pentanahan Counterpoise dengan tahanan sebesar  $1,9219 \Omega$  dengan arus petir 60 kA didapatkan, arus yang mengalir menuju Gardu Induk ( $I_k$ ) adalah sebesar 52128 A dan arus yang menuju jaringan

penanahan menara sebesar 7872 A dengan  $I_0$  sebesar 4103,1 A dan  $i_{n-1}$  ( $i_1$ ) sebesar 3768,9 A.

- # Untuk penggunaan sistem penanahan gabungan (Rod dan Counterpoise) dengan tahanan sebesar  $1,0958 \Omega$  dengan arus petir 60 kA didapatkan, arus yang mengalir menuju Gardu Induk ( $I_k$ ) adalah sebesar 50000,3 A dan arus yang menuju jaringan penanahan menara sebesar 9999,7 A dengan  $I_0$  sebesar 5830,9 A dan  $i_{n+1}$  ( $i_1$ ) sebesar 4168,8 A.
- 4. Sistem penanahan yang tepat pada menara adalah sistem penanahan gabungan karena mempunyai tahanan penanahan yang paling rendah sehingga memperbesar arus gangguan kilat pada jaringan penanahan menara dan juga arus gangguan  $I_k$  akan terkurangi oleh tahanan pada kaki menara  $n+1$  apabila terjadi gangguan kilat pada menara-menara selain menara  $T_{49}$ .

- Eborris yg rendah
- R yg rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purnomo Heri, Ir, "Penyaluran Tenaga Listrik", Diktat Kuliah Universitas Brawijaya.
- [2] Dr. Arismunandar, Dr. S. Kuwahara, "Teknik Tenaga Listrik Jilid II, Saluran Transmisi".
- [3] Hutaeruk T.S, Ir "Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja" 1991.
- [4] R. Verma. And D. Mukherjee, "Ground Fault Current Distribution in Sub Station, Towers and Ground Wire", IEEE Transaction on Power Apparatus and System, Vol. PAS-98, No. 3 May/June 1996.
- [5] Y.L. Chow and M.M.A. Salama, "A Simplified Method for Calculating the Substation Grounding Resistance", IEEE Trans. Power Delivery, 1994.
- [6] Hutaeruk T.S, Ir, "Pengetahuan Netral Sistem Tenaga Dan Pengetahuan Peralatan" Jakarta, Penerbit Erlangga, 1991.
- [7] Hutaeruk T.S, Ir, "Penyaluran Tenaga Listrik" Penerbit Erlangga.
- [8] Setyo Saksomo, Ir, Djoko Priatmono, Ir, "Peralatan Tegangan Tinggi" Diktat Kuliah Energi Listrik ITN Malang.
- [9] Stevenson D. William Jr, "Analisis Sistem Tenaga Listrik" Edisi Keempat.
- [10] Soepartono Ir, Rida Ismu Ir, "Teknik Tenaga Listrik 2", Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan.
- [11] Paper Overhead Groundwire, "Perlindungan Transmisi Tenaga Listrik Dari Sambaran Petir" Paper Internet.

LAMPYRAM

---



## LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : M. ALI TAJUS SYAROF  
2. NIM : 00.12.143  
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1  
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
5. Judul Skripsi : ANALISIS ARUS GANGGUAN  
KILAT TERHADAP  
PENTANAHAN KAKI MENARA  
TRANSMISI 150 kV DENGAN  
METODE PENTANAIHAN  
COUNTERPOISE, ROD DAN  
GABUNGAN  
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 23 Mei 2005  
7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 5 Maret 2006  
8. Dosen Pembimbing : Ir. TEGUH HERBASUKI, MT  
10. Telah dievaluasi dengan nilai : 85 ( delapan puluh lima) *b*

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
NIP.Y. 1039500274

Diperiksa dan Disetujui  
Dosen Pembimbing

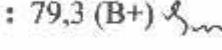
Ir. Teguh Herbasuki, MT  
NIP : 103 8900 209



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-I  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

## BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama : M. ALI TAJUS SYAROF
2. NIM : 00.12.143
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISIS ARUS GANGGUAN KILAT TERHADAP PENTANAHAAN KAKI MENARA TRANSMISI 150 kV DENGAN METODE PENTANAHAAN COUNTERPOISE, ROD DAN GABUNGAN.

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :  
Hari : Sabtu  
Tanggal : 18 Maret 2006  
Dengan Nilai : 79,3 (B+) 

### Panitia Ujian Skripsi



Ir. Mochtar Asroni, MSME  
Ketua

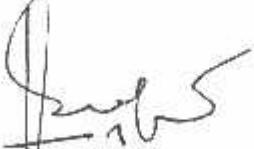


Ir. F Yudi Limpraptono, MT  
Sekretaris

### Anggota Penguji



Ir. M. Abdul Hamid, MT  
Penguji Pertama



Ir. Eko Nurcahyo  
Penguji Kedua



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
KONSENTRASI ENERGI LISTRIK

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1), yang diselenggarakan pada:

Hari : Sabtu  
Tanggal : 18 Maret 2006

Telah dilakukan perbaikan oleh:

Nama : M. ALI TAJUS SYAROF  
N.I.M : 00.12.143  
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1  
Konsentrasi : ENERGI LISTRIK  
Judul Skripsi : ANALISIS ARUS GANGGUAN KILAT TERHADAP PENTANAHAAN KAKI MENARA TRANSMISI 150 kV DENGAN METODE PENTANAHAAN COUNTERPOISE, ROD DAN GABUNGAN

Perbaikan meliputi:

No.	Materi Perbaikan	Keterangan
1.	Agar judul dari skripsi ditambahkan arus gangguan kilat.	✓

Anggota Pengaji

Pengaji I

Ir. M. Abdul Hamid, MT

Pengaji II

Ir. Eko Nurcahyo

Diperiksa dan Disetujui,  
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : M. ALI TAJUS SYAROF  
Nim : 0012143  
Masa Bimbingan : 28 Nopember 2005 s/d 28 Mei 2006  
Judul Skripsi : Analisis Pentanahan Kaki Menara Transmisi 150 KV Dengan Metode Pentanahan Counterpoise, Rod dan Gabungan.

No	Tanggal	Uraian	Papap Pembimbing
1.	30/05/05	Konsultasi pembuatan skripsi	
2.	05/05/05	Konsultasi bab I.	
3.	20/05/05	Revisi tujuan, konsul. bab II	
4.	27/05/05	Revisi teori penunjang	
5.	10/06/05	Konsultasi bab III	
6.	25/06/05	Konsultasi bab IV & V	
7.	05/06/06	Revisi bab III & IV	
8.	10/06/06	Acc seminar	
9.	05/06/06	Acc ujian	
10.			

Malang, 1-2006

Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT

Form.S-4b

# LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI

## JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika\*)

1.	Nama Mahasiswa: <u>Teguh Syaiful</u>		Nim: <u>0012143</u>
2.	Waktu Pengajuan	Tanggal: <u>22</u>	Bulan: <u>04</u> Tahun: <u>2008</u>
Spesifikasi Judul (berilah tanda silang**)			
3.	<input checked="" type="checkbox"/> a. Sistem Tenaga Elektrik <input type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi <input checked="" type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi & Pengukuran <input type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri <input type="checkbox"/> e. Elektronika & Komponen <input type="checkbox"/> f. Elektronika Digital & Komputer <input type="checkbox"/> g. Elektronika Komunikasi <input type="checkbox"/> h. lainnya .....		
Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen*)		Ketua Jurusan	
4.	<u>I. Teguh Syaiful, a.s.</u>		 Ir. F. Yuwi Limpaptono MT NIP. P 1039500274
5.	Judul yang diajukan mahasiswa: <u>Materi Kelistrikan ESD: Rancangan Perangkat Pengukuran dan Pengolahan Data Untuk Sistem</u>		
6.	Perubahan judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu		
7.	Catalana:       Disetujui Dosen <u>18-06-2008 - 2008</u> 		

## Perhatian:

1. Formulir pengajuan ini harus dikembalikan kepada Jurusan paling lambat satu minggu setelah disetujui kelompok dosen keahlian dengan dilampirkan proposal skripsi beserta persyaratan skripsi sesuai form S-1
2. Keterangan: \*) Coret yang tidak perlu  
\*\*) dilingkari a, b, c, ..., atau g sesuai bidang keahlian

Form S-2

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2  
**M A L A N G**

Lampiran : 1 (satu) berkas  
Pembimbing Skripsi

Kepada : Yth. Bapak/Ibu Ir. M. Ali Tijor Syarif,  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
**M A L A N G**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : M. Ali Tijor Syarif  
Nim : 0012143  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu persedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping \*) , untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir) : Audits Prototipe Kali Menara Tambang di PT. Bumi Laut Melati Samarinda.  
Catatan pribadi, R3 dan takutnya

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesedaran Bapak/Ibu kami acap kali terima kasih.

Malang, 19 - 04 - 2005

Ketua  
Jurusan Teknik Elektro S-1  
  
Ir. E. Yudi Limpapitong, MT  
Nip. 1039500274

Hormat kami,

  
M. Ali Tijor Syarif

\*) coret yang tidak perlu

PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : M. Ali Tijos Syarif

Nim : 8612143

Semester : 8

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Energi Listrik

Dengan ini Menyatakan bersedia / tidak bersedia \*) Membimbing Skripsi dari

mahasiswa tersebut, dengan judul : *Rancangan Sistem Pengelolaan*

*Mineral Tumbuhan dan Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan*

*Colander min. dan tanaman*.

Demikian surat Pernyataan ini kami buat agar dapat dipergunakan seperlunya,

Malang,

Kami yang Membuat pernyataan,

NIP.

Farm.S-3b



PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

# INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-915/LSKP /2/'05  
Lampiran : satu lembar  
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Kepada : Yth. Sdr. **Ir. TEGUH HERBASUKI, MT \*)**  
Dosen Institut Teknologi Nasional  
di – Malang

Dengan Hormat,  
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam perpanjangan masa  
bimbingan skripsi yang telah dilakukan untuk mahasiswa :

Nama : M. ALI TAJUS S  
Nim : 0012143  
Fakultas : Teknologi Industri  
Jurusan : Teknik Elektro  
Konsentrasi : T. Energi Listrik (S-1)

Dengan ini pembimbingan skripsi tersebut kami serahkan kembali  
sepenuhnya kepada Saudara/I, selama masa waktu **6 (Enam)** bulan  
terhitung mulai tanggal:

28 Nov. 2005 s/d 28 Mei 2006

Adapun tugas tersebut merupakan salah satu syarat untuk memperoleh  
gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Elektro, apabila lewat dari batas  
waktu tsb, maka, skripsinya akan digugurkan.

Demikian atas perhatian serta kerjasama yang baik kami ucapkan terima  
kasih.



**Tindasan :**

1. \*) Perpanjangan Kontrak
2. Mahasiswa yang bersangkutan
3. Arsip.

Form. S-4a



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-1397/IIT/A/2/2005  
Lampiran :  
Perihal : Survey / Permintaan Data  
  
Kepada : Yth Pimpinan  
PT.PLN (Persero) P3B Jawa Bali  
Region Jawa Timur dan Bali  
Jl. Suningrat No.45 Taman 61257  
di-  
Sidoarjo

Malang, 04 Juni 2005

Bersama ini dengan hormat kami mohon kebijaksanaan Bapak agar mahasiswa kami dari Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro S-1 Konsentrasi Teknik Energi Listrik dapat diijinkan untuk melaksanakan survey pada Gardu Induk Blimbing Malang untuk mendapatkan data-data guna penyusunan Skripsi dengan Judul :

**ANALISIS PENTANAHAN KAKI MENARA TRANSMISI 150 KV DENGAN METODE PENTANAHAN COUNTERPOISE, ROD DAN GABUNGAN**

Mahasiswa tersebut adalah :

1. M. Ali Tajus Syarof NIM : 00.12.143

Adapun lama Survey adalah : 2 ( Dua ) Minggu

Demikian agar maklum dan atas perhatian serta bantuan kami ucapkan terima kasih.



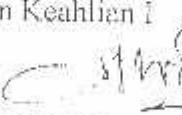
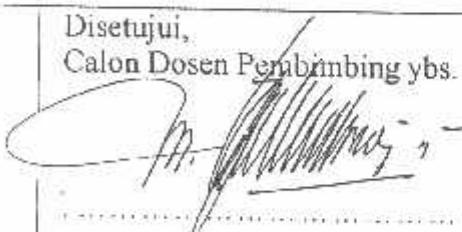
**Tembusan disampaikan kepada Yth :**

1. Ketua Jurusan
2. Arsip



# BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika \*

1	Nama Mahasiswa : M. Ali Tajus Syarof		Nim : 0012193
2	Keterangan Pelaksanaan	Tanggal 23 - 05 - 05	Waktu Tempat Ruang : tajur
Spesifikasi judul **:			
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Sistem Tenaga Elektrik</li> <li>b. Energi &amp; Konversi Energi</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi &amp; Pengukuran</li> <li>d. Sistem Kendali Industri</li> <li>e. Elektronika &amp; Komponen</li> <li>f. Elektronika Digital &amp; Komputer</li> <li>g. Elektronik Komunikasi</li> <li>h. lainnya .....</li> </ul>		
4	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	<p>Analisis Pintaunderan kaki manusia Transmisi 150 KV dg Metode Pengambilan Counterpoise, p.03. Dr. B. Kalongger.</p>	
5	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian		
6	<p>Catatan :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>		
Persetujuan Judul Skripsi :			
	Disetujui, Dosen Keahlian I 	Disetujui, Dosen Keahlian II 	
7	Mengetahui, Ketua Jurusan.	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs.  Ir. F. Yudi Limpraptono, MT Nip. Y. 1039500274	

Perhatian :

- \*) corel yang tidak perlu  
\*\*) dilingkari a, b, c, ..... atau g sesuai bidang keahlian.

**LAMPIRANI**

Using Toolbox Path Cache. Type "help toolbox path\_cache" for more info.

To get started, select "MATLAB Help" from the Help menu.

```
>>
%PROGRAM SKRIPSI
%copyrights @2006
aa=now;
b=datestr(aa,1);
c=datestr(aa,13);
disp(' ')
disp('PROGRAM SKRIPSI')
disp('copyrights @2006 ')
disp(['Tgl / Jam = ' num2str(b) '/' num2str(c)])
disp(' ')
disp('PILIH 1 -> Perhitungan Dengan Menggunakan Sistem Pentalahan Counterpoise, Rod dan
Gabungan')
disp(' 2 -> Bersihkan Layar')
disp(' 3 -> KELUAR DARI PROGRAM')
disp(' ')

PIL=input('MASUKKAN PILIHAN ANDA =');

if (PIL>3)
    disp('Anda salah dalam memasukkan input. Ulangi sekali lagi ')
    disp(' ')
    PIL=input('MASUKKAN PILIHAN ANDA =');
    disp(' ')
elseif (PIL<1)
    disp('Anda salah dalam memasukkan input. Ulangi sekali lagi ')
    disp(' ')
    PIL=input('MASUKKAN PILIHAN ANDA =');
    disp(' ')
end
PILIHAN=PIL;
disp(' ')
while PILIHAN <=3

switch PILIHAN
    case 1
        tic;
        IKL=275;
        PFL=0.655;
        b=6.85;
        h=32.1;
        d0=5.81;
        h1=26.7;
        p=5.32;
        Q=0.44;
        n=0.85;
        Ro=100;
        L=24;
        Lc=35;
        s=0.8;
        a=5.4;
        D=0.001;
        t=0.005;
```

```

Rgi=74.2;
dg=0.0175;
hg=5.75;
A1=25954.5;
N=40;
A2=14;
r1=0.0048;
b1=64.56;
W1=1.75;
R=0.327;
Zg=3.278;
df=7.73;

disp(' ')
If=input ('If(A)=');

disp(' Luas Bayang-bayang Kawat Tanah')
W=(b+(4*h^1.09))
A=0.0151*W
disp(' Jumlah Sambaran Kilat Pada Menara')
N=0.15*IKL
NL=N*A
Nt=0.85*0.6*NL*PFL
disp(' Gangguan Kilat Pada Seperempat Gawang')
bq=(h-(d0/4))-(h1-(df/4))
dq=sqrt(bq^2+p^2)
Nq=dq*0.3
disp(' Gangguan Kilat Pada setengah Gawang')
bm=(h-(d0/2))-(h1-(df/2))
dm=sqrt(bm^2+p^2)
Nm=dm*0.1
disp(' Gangguan Kilat Karena Kegagalan Perisaian')
Nsf=Q*NL*n
disp(' Jumlah Gangguan Kilat pada SUTT')
No=Nsf+Nm+Nq+Nt
disp(' Tahanan Sistem Pentanahan Rod')
Aa=(sqrt(2^0.5*a^3*r))
A=sqrt(Aa)
Rr=(Ro/(2*pi*L))*log((2*L)/A)
disp(' Tahanan Sistem Pentanahan Counterpoise')
Rc=(Ro/(8*pi*Lc))*(log((2*Lc)/r)+log((2*Lc)/s)+2.912-(1.071*(s/Lc))+0.645*(s^2/Lc^2)-0.145*(s^4/Lc^4))
disp(' Tahanan Sistem Pentanahan Gabungan')
Rg=(Rr*Rc)/(Rr+Rc)
disp(' Tahanan Sistem Pentanahan Gardu Induk')
Rk=Rgi*(1/4*sqrt(3.14/A1)+1/(N*A2)*(1/(2*3.14)*log(0.165*A2/dg)))*(1-((2*hg)/sqrt(A1))^1.128)
disp(' Faktor Kopling')
u=log10(b1/p)/log10(2*h/r1)
disp(' Tegangan Lompatan Api Kritis')
Vkr=((0.4*W1)+((0.71*W1)/2^0.75))*10000
V=1.8*Vkr
disp(' Impedansi Surja Ekivalen Kawat Tanah')
Z11=60*sqrt(log((2*h)/r1)*log((2*h)/R))
Z22=Z11
b12=sqrt((2*h)^2+b^2)

```

---

```

Z12=60*log(b12/b)
Zeki=1/4*(Z11+Z22+(2*Z12))

disp(' ')
disp('-----')
disp('Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Rod : ')
disp('-----')
disp(' ')
Zr=sqrt(Zg*Rr)*(1-u)
Ikr=If*(Zr/(Rk+Zr))
disp(['Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = ' num2str(Ikr)])
Ik=If-Ikr
disp(['Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (If') = ' num2str(Ifr)])
Ior=Ifr*sqrt((Zg/Rr)/(1+Zg/(4*Rr)))/(1+0.5*sqrt((Zg/Rr)/(1+Zg/(4*Rr))))*(1-u)
disp(['Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = ' num2str(Ior)])
ir1=Ifr-Ior
disp(['Arus Gangguan menuju Menara n+1 = ' num2str(ir1)])
disp('')

disp('-----')
disp('Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Counterpoise : ')
disp('-----')
disp(' ')
Zc=sqrt(Zg*Rc)*(1-u)
Ikc=If*(Zc/(Zc+Rk))
disp(['Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = ' num2str(Ikc)])
Ifc=If-Ikc
disp(['Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (If') = ' num2str(Ifc)])
Ioc=Ifc*sqrt((Zg/Rc)/(1+Zg/(4*Rc)))/(1+0.5*sqrt((Zg/Rc)/(1+Zg/(4*Rc))))*(1-u)
disp(['Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = ' num2str(Ioc)])
ic1=Ifc-Ioc
disp(['Arus Gangguan menuju Menara n+1 = ' num2str(ic1)])
disp('')

disp('-----')
disp('Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Gabungan : ')
disp('-----')
disp(' ')
Zgb=sqrt(Zg*Rg)*(1-u)
Ikg=If*(Zgb/(Rk+Zgb))
disp(['Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = ' num2str(Ikg)])
Ilg=If-Ikg
disp(['Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (If') = ' num2str(Ifg)])
Iog=Ifg*sqrt((Zg/Rg)/(1+Zg/(4*Rg)))/(1+0.5*sqrt((Zg/Rg)/(1+Zg/(4*Rg))))*(1-u)
disp(['Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = ' num2str(Iog)])
ig1=Ifg-Iog
disp(['Arus Gangguan menuju Menara n+1 = ' num2str(ig1)])
disp('')

PILIHAN=input('MASUKKAN PILIHAN ANDA =');
disp(' ')
if PILIHAN==4
    disp(' ')
    disp('KELUAR DARI PROGRAM')
    break
end

```

```
case 2
   clc
   disp('')
   disp('PROGRAM SKRIPSI')
   disp('copyrights @2005')
   disp(['Tgl / Jam = ' num2str(b) '/' num2str(c)])
   disp('')
    disp('PILIH 1 -> Perhitungan Dengan Menggunakan Sistem Pentanahan Counterpoise, Rod dan Gabungan')
    disp(' 2 -> Bersihkan Layar')
    disp(' 3 -> KELUAR DARI PROGRAM')
    disp('')

PILIHAN=input('MASUKKAN PILIHAN ANDA =');
disp('')
```

```
case 3
    disp('KELUAR OK ')
    break
    end
```

```
end
```

```
PROGRAM SKRIPSI
copyrights @2006
Tgl / Jam = 10-Mar-2006 / 07:47:18
```

```
PILIHAN 1 -> Perhitungan Dengan Menggunakan Sistem Pentanahan Counterpoise, Rod dan Gabungan
```

```
 2 -> Bersihkan Layar
  3 -> KELUAR DARI PROGRAM
```

```
MASUKKAN PILIHAN ANDA =1
```

```
If (A) =60000
    Luas Bayang-bayang Kawat Tanah
    W = 182.2988
    A = 2.7527
```

```
Jumlah Sambaran Kilat Pada Menara
N = 41.2500
Nt = 113.5494
Nt = 37.9312
```

```
Gangguan Kilat Pada Seperempat Gawang
bq = 5.8800
dq = 7.9295
Nq = 2.3788
```

```
Gangguan Kilat Pada setengah Gawang
bm = 6.3600
dm = 8.2917
Nm = 0.8292
```

Gangguan Kilat Karena Kegagalan Perisaian  
Nsf = 42,4675

Jumlah Gangguan Kilat pada SUTT  
No = 83,6067

Tahanan Sistem Pentanahan Rod  
Aa = 1.0552  
 $\Delta$  = 1.0272  
Rr = 2.5494

Tahanan Sistem Pentanahan Counterpoise  
Rc = 1.9219

Tahanan Sistem Pentanahan Gabungan  
Rg = 1.0958

Tahanan Sistem Pentanahan Gardu Induk  
Rk = 0.2795

Faktor Kopling  
 $u$  = 0.2627

Tegangan Lompatan Api Kritis  
 $V_{krit}$  = 1.4388e+004  
 $V$  = 2.5898e+004

Impedansi Surja Ekivalen Kawat Tanah  
Z11 = 424.9598  
Z22 = 424.9598  
b12 = 64.5644  
Z12 = 134.6049  
Zeki = 279.7823

---

#### Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Rod :

---

Zr = 2.1313

Ikr = 5.3045e+004

Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = 53044.7955

Ifi = 6.9552e+003

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (If") = 6955.2045  
Ior = 3.3875e+003

Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = 3387.5477  
ir1 = 3.5677e+003

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 3567.6568

---

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Counterpoise :

---

Zc = 1.8506  
Ikc = 5.2128e+004

Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = 52128.0335  
Ifc = 7.8720e -003

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (If') = 7871.9665

Ioc = 4.1031e+003

Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = 4103.1073  
ic1 = 3.7689e+003

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 3768.8592

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Gabungan :

---

Zgb = 1.3974  
Ikg = 5.0000e+004

Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = 50000.3146  
Ifg = 9.9997e+003

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (If') = 9999.6854  
Iog = 5.8309e+003

Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = 5830.9385  
ig1 = 4.1687e+003

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 4168.7469

MASUKKAN PILIHAN ANDA = 1  
If(A) = 70000  
Luas Bayang-bayang Kawat Tanah  
W = 182.2988  
A = 2.7527

Jumlah Sambaran Kilat Pada Menara  
N = 41.2500  
NL = 113.5494  
Nt = 37.9312

Gangguan Kilat Pada Seperempat Gawang  
bq = 5.8800  
dq = 7.9295  
Nq = 2.3788

Gangguan Kilat Pada setengah Gawang  
bm = 6.3600  
dm = 8.2917  
Nm = 0.8292

Gangguan Kilat Karena Kegagalan Perisaian

---

Nsf – 42.4675

Jumlah Gangguan Kilat pada SUTT  
No – 83.6067

Tahanan Sistem Pentanahan Rod  
Aa – 1.0552  
A = 1.0272  
Rr – 2.5494

Tahanan Sistem Pentanahan Counterpoise  
Rc = 1.9219

Tahanan Sistem Pentanahan Gabungan  
Rg = 1.0958

Tahanan Sistem Pentanahan Gardu Induk  
Rk = 0.2795

Faktor Kopling  
 $\mu$  = 0.2627

Tegangan Lompatan Api Kritis  
V<sub>kri</sub> = 1.4388e+004  
V = 2.5898e+004

Impedansi Surja Ekivalen Kawat Tanah  
Z11 – 424.9598  
Z22 – 424.9598  
b12 = 64.5644  
Z12 – 134.6049  
Zek = 279.7823

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Rod :

---

Zr = 2.1313  
Ik<sub>r</sub> = 6.1886e+004

Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = 61885.5948  
Ifr = 8.1144e+003

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (I<sup>f'</sup>) = 8114.4052  
Ior = 3.9521e+003

Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = 3952.139  
ir1 = 4.1623e+003

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 4162.2662

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Counterpoise :

---

Zc = 1.8506  
Ik<sub>c</sub> = 6.0816e+004

---

Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = 60816.0391  
Ifc = 9.1840e+003

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (If") = 9183.9609  
Ioc = 4.7870e+003

Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = 4786.9585  
ic1 = 4.3970e+003

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 4397.0024

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Gabungan :

---

Zgb = 1.3974  
Ikg = 5.8334e-004

Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = 58333.7003  
Ifg = 1.1666e+004

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (If") = 11666.2997  
Iog = 6.8028e+003

Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = 6802.7616  
ig1 = 4.8635e+003

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 4863.5381

MASUKKAN PILIHAN ANDA =1

If(A) =80000  
Luas Bayang-bayang Kawat Tanah  
W = 182.2988  
A = 2.7527

Jumlah Sambaran Kilat Pada Menara  
N = 41.2500  
NL = 113.5494  
Nt = 37.9312

Gangguan Kilat Pada Seperempat Gawang  
bq = 5.8800  
dq = 7.9295  
Nq = 2.3788

Gangguan Kilat Pada setengah Gawang  
bm = 6.3600  
dm = 8.2917  
Nm = 0.8292

---

Gangguan Kilat Karena Kegagalan Perisaian  
Nsf = 42.4675

Jumlah Gangguan Kilat pada SUTT  
No = 83.6067

Tahanan Sistem Pentanahan Rod  
Aa = 1.0552  
A = 1.0272  
Rr = 2.5494

Tahanan Sistem Pentanahan Counterpoise  
Rc = 1.9219

Tahanan Sistem Pentanahan Gabungan  
Rg = 1.0958

Tahanan Sistem Pentanahan Gardu Induk  
Rk = 0.2795

Faktor Kopling  
u = 0.2627

Tegangan Lompatan Api Kritis  
Vkr = 1.4388e+004  
V = 2.5898e+004

Impedansi Surja Ekivalen Kawat Tanah  
Z11 = 424.9598  
Z22 = 424.9598  
b12 = 64.5644  
Z12 = 134.6049  
Zekl = 279.7823

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Rod :

---

Zr = 2.1313  
IkR = 7.0726e+004

Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = 70726.3941  
IfR = 9.2736e+003

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (If') = 9273.6059  
Ior = 4.5167e+003

Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = 4516.7303  
irI = 4.7569e+003

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 4756.8757

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Counterpoise :

---

Zc = 1.8506  
IkC = 6.9504e+004

Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = 69504.0447

---

$I_{fc} = 1.0496e+004$

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara ( $I_f'$ ) = 10495.9553  
 $I_{oc} = 5.4708e+003$

Arus Gangguan Pada Kaki Menara ( $I_o$ ) = 5470.8097  
 $|I_o| = 5.0251e+003$

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 5025.1456

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Gabungan :

---

$Z_{gb} = 1.3974$   
 $I_{kg} = 6.6667e+004$

Arus Gangguan menuju G.I ( $I_k$ ) = 66667.0861  
 $I_{fg} = 1.3333e+004$

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara ( $I_f''$ ) = 13332.9139  
 $I_{og} = 7.7746e+003$

Arus Gangguan Pada Kaki Menara ( $I_o$ ) = 7774.5847  
 $|I_{gl}| = 5.5583e+003$

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 5558.3292

MASUKKAN PILIHAN ANDA =1

$I_f(A) = 90000$   
Luas Bayang-bayang Kawat Tanah  
 $W = 182.2988$   
 $A = 2.7527$

Jumlah Sambaran Kilat Pada Menara  
 $N = 41.2500$   
 $NL = 113.5494$   
 $Nt = 37.9312$

Gangguan Kilat Pada Scperempat Gawang  
 $bq = 5.8800$   
 $dq = 7.9295$   
 $Nq = 2.3788$

Gangguan Kilat Pada setengah Gawang  
 $bm = 6.3600$   
 $dm = 8.2917$   
 $Nm = 0.8292$

Gangguan Kilat Karena Kegagalan Perisaian

$Nsf = 42.4675$

Jumlah Gangguan Kilat pada SUTT  
 $No = 83.6067$

---

Tahanan Sistem Pentanahan Rod

$$Aa = 1.0552$$

$$A = 1.0272$$

$$Rr = 2.5494$$

Tahanan Sistem Pentanahan Counterpoise

$$Rc = 1.9219$$

Tahanan Sistem Pentanahan Gabungan

$$Rg = 1.0958$$

Tahanan Sistem Pentanahan Gardu Induk

$$Rk = 0.2795$$

Faktor Kopling

$$u = 0.2627$$

Tegangan Lompatan Api Kritis

$$V_{krt} = 1.4388e+004$$

$$V = 2.5898e+004$$

Impedansi Surja Ekivalen Kawat Tanah

$$Z_{11} = 424.9598$$

$$Z_{22} = 424.9598$$

$$b_{12} = 64.5644$$

$$Z_{12} = 134.6049$$

$$Z_{ek} = 279.7823$$

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Rod :

---

$$Z_r = 2.1313$$

$$I_{kr} = 7.9567e+004$$

Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = 79567.1933

$$I_{fr} = 1.0433e+004$$

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (II') = 10432.8067

$$I_{qr} = 5.0813e+003$$

Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = 5081.3215

$$|J_f| = 5.3515e+003$$

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 5351.4851

---

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Counterpoise :

---

$$Z_c = 1.8506$$

$$I_{kc} = 7.8192e+004$$

Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = 78192.0503

$$I_{fc} = 1.1808e+004$$

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara ( $If''$ ) = 11807.9497  
 $Ioc = 6.1547e+003$

Arus Gangguan Pada Kaki Menara ( $Io$ ) = 6154.6609  
 $ic1 = 5.6533e+003$

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 5653.2888

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Gabungan :

---

$Zgb = 1.3974$   
 $Ikg = 7.5000e+004$

Arus Gangguan menuju G.I ( $Ik$ ) = 75000.4719  
 $Ifg = 1.5000e+004$

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara ( $If''$ ) = 14999.5281  
 $log = 8.7464e+003$

Arus Gangguan Pada Kaki Menara ( $Io$ ) = 8746.4077  
 $ig1 = 6.2531e+003$

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 6253.1204

MASUKKAN PILIHAN ANDA –1

$If(A) = 100000$   
Luas Bayang-bayang Kawat Tanah  
 $W = 182.2988$   
 $A = 2.7527$

Jumlah Sambaran Kilat Pada Menara  
 $N = 41.2500$   
 $NL = 113.5494$   
 $Nt = 37.9312$

Gangguan Kilat Pada Seperempat Gawang  
 $bq = 5.8800$   
 $dq = 7.9295$   
 $Nq = 2.3788$

Gangguan Kilat Pada setengah Gawang  
 $bm = 6.3600$   
 $dm = 8.2917$   
 $Nm = 0.8292$

Gangguan Kilat Karena Kegagalan Perisaiian  
 $Nsf = 42.4675$

Jumlah Gangguan Kilat pada SUTT  
 $No = 83.6067$

Tahanan Sistem Pentanahan Rod  
 $Aa = 1.0552$

---

$A = 1.0272$   
 $Rr = 2.5494$

Tahanan Sistem Pentanahan Counterpoise  
 $Rc = 1.9219$

Tahanan Sistem Pentanahan Gabungan  
 $Rg = 1.0958$

Tahanan Sistem Pentanahan Gardu Induk  
 $Rk = 0.2795$

Faktor Kopling  
 $u = 0.2627$

Tegangan Lompatan Api Kritis  
 $V_{krt} = 1.4388e+004$   
 $V = 2.5898e+004$

Impedansi Surja Ekivalen Kawat Tanah  
 $Z_{11} = 424.9598$   
 $Z_{22} = 424.9598$   
 $b_{12} = 64.5644$   
 $Z_{12} = 134.6049$   
 $Z_{ek} = 279.7823$

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Rod :

---

$Z_r = 2.1313$   
 $I_{kr} = 8.8408e+004$

Arus Gangguan menuju G.I ( $I_k$ ) = 88407.9926  
 $I_{fr} = 1.1592e+004$

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara ( $I_f''$ ) = 11592.0074  
 $I_{or} = 5.6459e+003$

Arus Gangguan Pada Kaki Menara ( $I_o$ ) = 5645.9128  
 $I_{rl} = 5.9461e+003$

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 5946.0946

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Counterpoise :

---

$Z_c = 1.8506$   
 $I_{kc} = 8.6880e+004$

Arus Gangguan menuju G.I ( $I_k$ ) = 86880.0559  
 $I_{fc} = 1.3120e+004$

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara ( $I_f''$ ) = 13119.9441  
 $I_{oc} = 6.8385e+003$

---

Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = 6838.5121  
ic1 = 6.2814e+003

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 6281.432

---

Distribusi Arus Gangguan Kilat Dengan Pentanahan Gabungan :

---

Zgb = 1.3974  
Ikg = 8.3334e+004

Arus Gangguan menuju G.I (Ik) = 83333.8576  
Hg = 1.6666e+004

Arus Gangguan menuju Jaringan Pentanahan Menara (If') = 16666.1424  
Iog = 9.7182e+003

Arus Gangguan Pada Kaki Menara (Io) = 9718.2308  
ig1 = 6.9479e+003

Arus Gangguan menuju Menara n+1 = 6947.9115

MASUKKAN PILIHAN ANDA =

---

**Tabel Hasil Perhitungan**  
**dengan Menggunakan Program Matlab 6.5.1**

60 kA			
	Rod	Counterpoise	Gabungan
I <sub>k</sub>	53044,8 A	52128 A	50000,3 A
I <sub>f'</sub>	6955,2 A	7872 A	9999,7 A
I <sub>g</sub>	3387,5 A	4103,1 A	5830,9 A
I <sub>l</sub>	3567,7 A	3768,9 A	4168,8 A
70 kA			
	Rod	Counterpoise	Gabungan
I <sub>k</sub>	61885,6 A	60816 A	58333,7 A
I <sub>f'</sub>	8114,4 A	9183,9 A	11666,3 A
I <sub>g</sub>	3952,1 A	4786,9 A	6802,7 A
I <sub>l</sub>	4162,3 A	4397 A	4863,6 A
80 kA			
	Rod	Counterpoise	Gabungan
I <sub>k</sub>	70726,4 A	69504 A	66667 A
I <sub>f'</sub>	9273,6 A	10495,9 A	13332,9 A
I <sub>g</sub>	4516,7 A	5470,8 A	7774,6 A
I <sub>l</sub>	4756,9 A	5025,1 A	5558,3 A
90 kA			
	Rod	Counterpoise	Gabungan
I <sub>k</sub>	79567,2 A	78192 A	75000,5 A
I <sub>f'</sub>	10432,8 A	11807,9 A	14999,5 A
I <sub>g</sub>	5081,3 A	6154,7 A	8746,4 A
I <sub>l</sub>	5351,5 A	5653,3 A	6253,1 A
100 kA			
	Rod	Counterpoise	Gabungan
I <sub>k</sub>	88407,9 A	86880 A	83333,9 A
I <sub>f'</sub>	11592 A	13119,9 A	16666,1 A
I <sub>g</sub>	5645,9 A	6838,5 A	9718,2 A
I <sub>l</sub>	5946,1 A	6281,4 A	6947,9 A

**NOTES**

1. MEMBER

WITH BOLT MARK = L65X6

WITHOUT BOLT

WITHOUT MARK = M16 - 1

3. MATERIALS

SS41 - 1.45x4 - L65X6, M16

SS 50 M20

SS 55 L70X6 UP

4. UNIT = mm

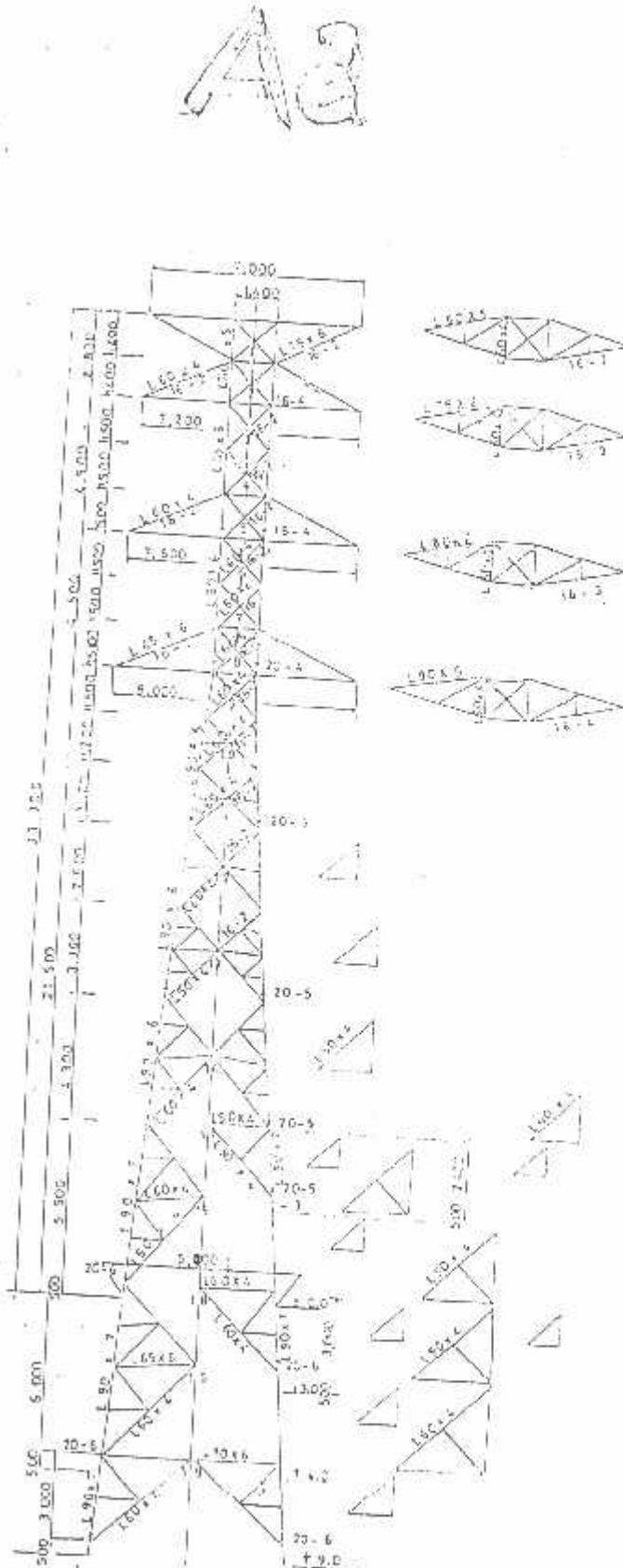
DESIGN CONDITION	
VOLTAGE	15.0 kV
NUMBER OF CIRCUITS	2
LOADING SPAN	350 m
HORIZONTAL ANGLE	3°
VERTICAL LOAD	0.2T
POWER CONDUCTOR KIND & SIZE	ACI/R/AW 240 mm <sup>2</sup>
SECTIONAL AREA	240 mm <sup>2</sup>
DIAMETER	22.4 mm
WEIGHT	1,042 kg/m
MAXIMUM WORKING TENSION	2,800 N
OVERHEAD GROUND WIRE KIND & SIZE	AW 55 mm <sup>2</sup>
SECTIONAL AREA	55 mm <sup>2</sup>
DIAMETER	9.6 mm
WEIGHT	0.374.7 kg/m
WIND PRESSURE INSULATOR STRING	1,330 N
STRINGING TYPE	SUSPENSION
ADIMENSION H	0.254/mm x 145 mm
NUMBER	12 UNITS x 2 STRINGS
WEIGHT	19.0 kg/25STRINGS
TOWER	110 kg/m <sup>2</sup>
WIRE	40 kg/m <sup>2</sup>
INSULATOR STRING	60 kg/25STRINGS

APPROXIMATE WEIGHT (kg)

TYPE	LEG EXTENSION	SUPER STRUCTURE BODY		LEG - 1 LEG	STUB
		①	②		
-3	3540	+0.100	(55)	+1.5 170	60
		+3.0 230			
±0	3540	+0.700	(55)	+1.5 170	60
		+1.5 280		+3.0 320	
A2	+3	4340	+0.130	(55)	+1.5 210
		+3.0 280		+3.0 320	60
+		+0.250	(55)	+1.5 330	60
		+1.5 330		+3.0 430	
+	5320	+0.170	(55)	+1.5 250	60
		+1.5 250		+3.0 320	
		+3.0 320			

$$\text{TOTAL WEIGHT} = ① + ② \times 4 + ③ \times 6$$

① : HH - TYPE



2025

L. MÉNIER

مکالمہ میں ایک ایسا

2. 501

WITNESS: MANN: 316 - 1

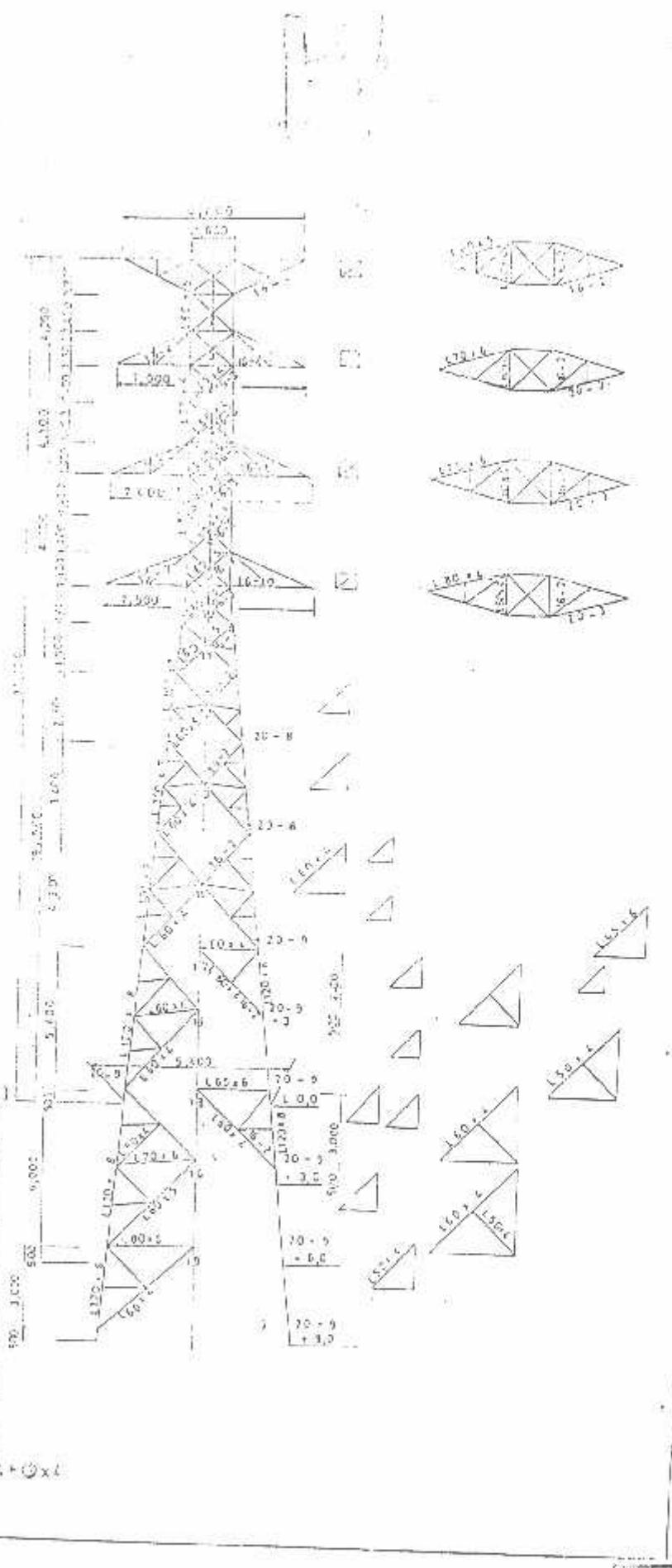
### 3. MATERIALS

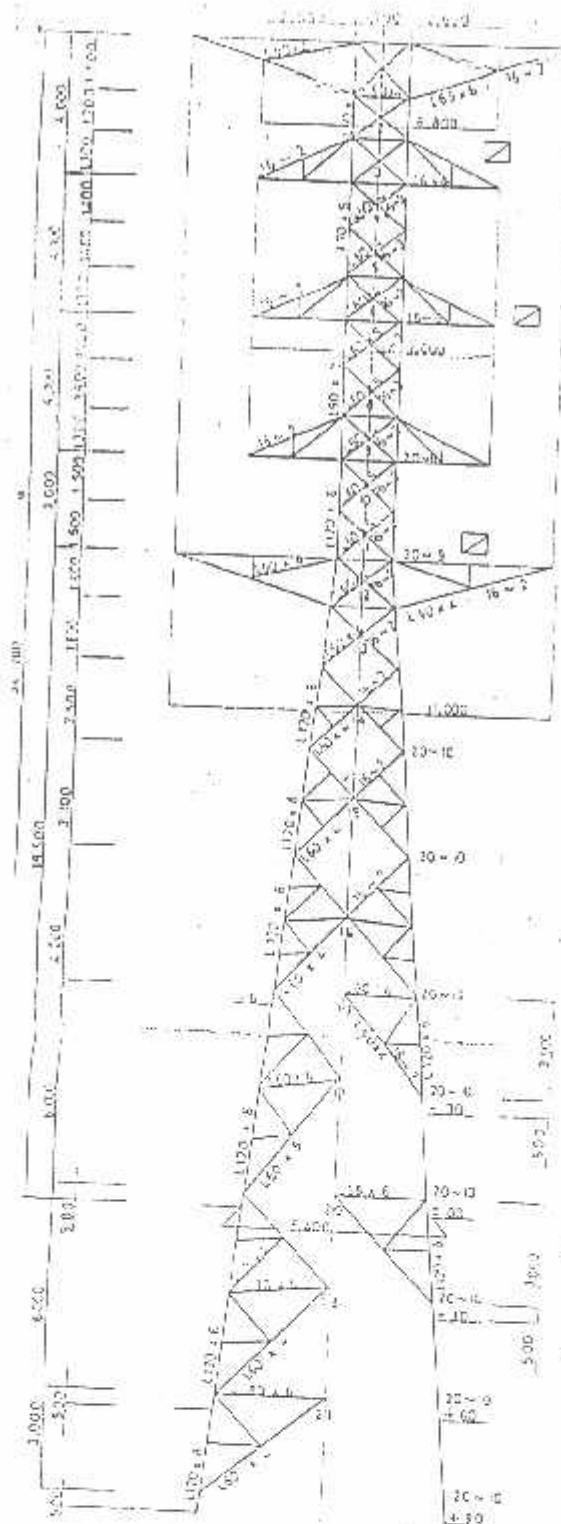
SS 41 L45 x 4 - L55 x 6 M 16

SS 50 K20

5555 L70x6 LP

#### 4. UNIT 5 mm





160

1.16.214.82.16

WITHOUT MARK = L 45 x 4  
2. BOCT

W-100 MARK = M15 ~ 1  
M15

MATERIALS

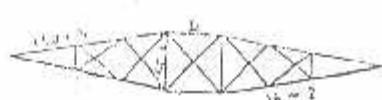
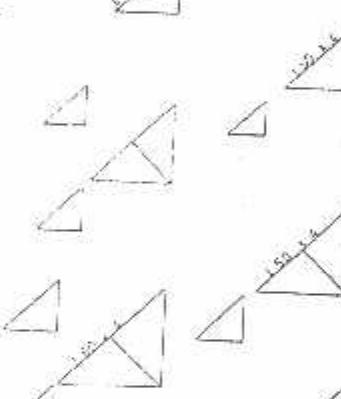
53 51  
53 50

SS-55 | 30-61 D

33-35-L76X

W = 100 m

APPROXIMATE POSITION	SUPER- STRUCT	WEIGHT KG.	
		①	②
-6	4320	8 170	160
		15 210	55
		30 240	
-3	5040	9 190	100
		15 220	55
		30 210	
+0	5040	3 280	160
		15 170	55
		30 150	
+3	4320	9 190	100
		15 230	55
		30 270	
+6	5100	9 210	100
		15 310	55
		30 490	
+9	7440	9 220	100
		15 300	55
		30 630	
TOTAL WEIGHT		14720	500



O SUPPORT INSULATOR  
(31~2)

**SUPPORT INSULATOR**  
**TENSION INSULATOR STRING**

卷之三

### DESIGN CONDITION

VOLTAGE	150 kV
NUMBER OF CIRCUITS	2x57
LOADING SPAN	350 m
HORIZONTAL ANGLE	20°
ELECTRICAL LOAD	0.21
POWER CONDUCTOR	KIND & SIZE ACSR/AlN 60 mm <sup>2</sup>
	SECTIONAL AREA 240 mm <sup>2</sup>
	DIAMETER 17.4 mm
	WEIGHT 1.647 kg/m
	MAXIMUM WORKING TENSION 28.25 kN
	KIND & SIZE ACSR/AlN 250 mm <sup>2</sup>
	SECTIONAL AREA 260 mm <sup>2</sup>
	DIAMETER 22.4 mm
BUS	WEIGHT 10.42 kg/m
	MAXIMUM WORKING TENSION 550 kN
	KIND & SIZE AYW 35 mm <sup>2</sup>
	SECTIONAL AREA 51 mm <sup>2</sup>
	DIAKETON 5.6 mm
	WEIGHT 0.3747 kg/m
	MAXIMUM WORKING TENSION 1.120 kN
	STRANDING TYPE TENSION
OVERHEAD GROUND WIRE	DIMENSION Ø 254 mm x 126 mm
	NUMBER 12 UNITS x 12 STRINGS
	WEIGHT 1.711 kg/m x 12 STRINGS
	TOWER 110 kg/m <sup>2</sup>
	WIRE 69 kg/m <sup>2</sup>
	INSULATOR STRING 60 kg/2 STRINGS
	INSULATOR 10 kg/2 STRINGS
	ROPE 1.5 kg/2 STRINGS
WIND PRESSURE	0.0001 N/mm <sup>2</sup>
INSULATOR	0.0001 N/mm <sup>2</sup>
THESSORE	0.0001 N/mm <sup>2</sup>

## OTES

## MEMBER

WITHOUT MARK = L 45 x 4

## BOLT

WITHOUT MARK = M16 - 1

## MATERIALS

SS 41 L 45 x 4 - L 65 x 6, M16

SS 50 M20, M22

SS 55 L 70 x 5 UP

UNIT = mm

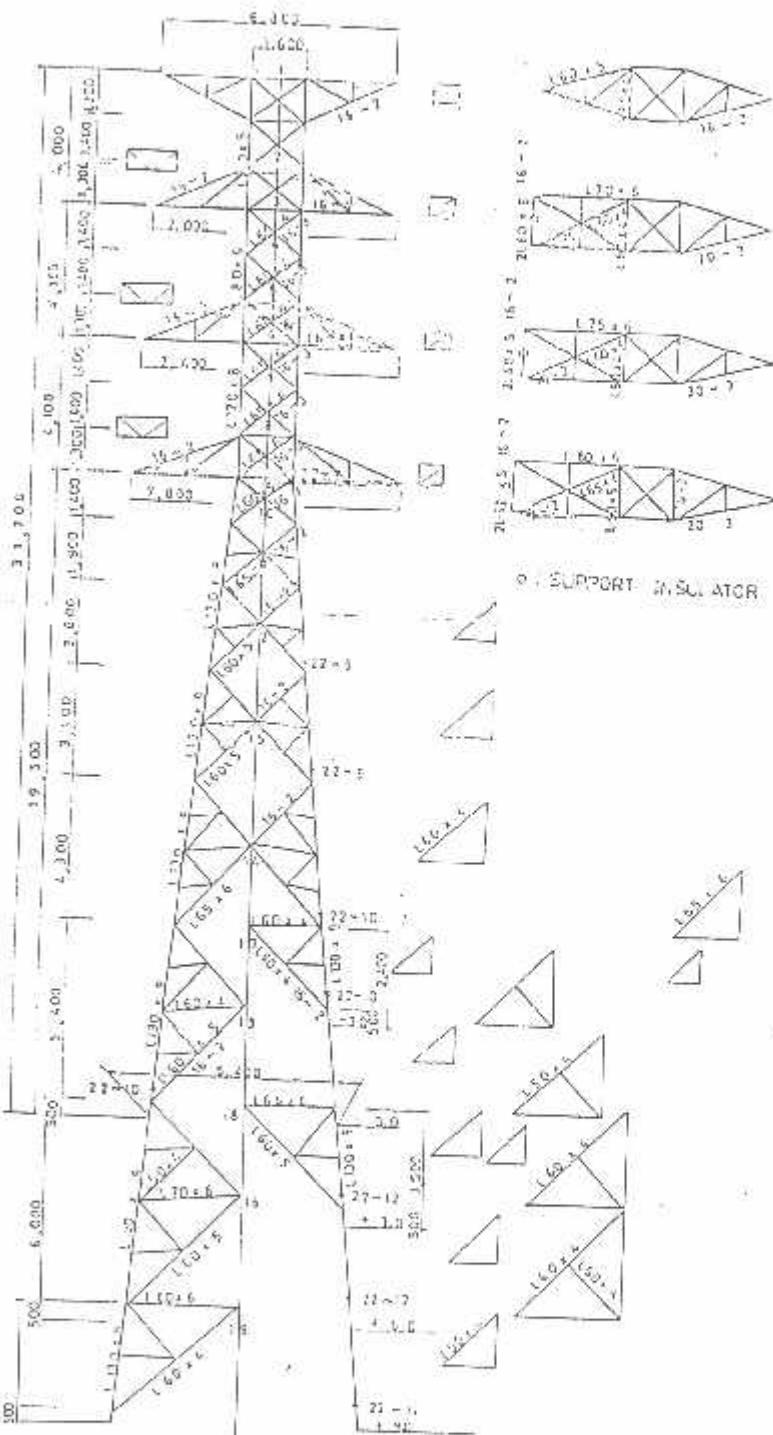
## DESIGN CONDITION

TAGE	150 KV
NUMBER OF CIRCUITS	3 ECI
DING SPAN	150 m
HORIZONTAL ANGLE	40°
VITAL LOAD	0.2T
KIND & SIZE	AW 55/ AW 240 mm <sup>2</sup>
SECTIONAL AREA	240 mm <sup>2</sup>
DIA METER	27.4 mm
WEIGHT	1.042 kg/m
MAXIMUM WORKING TENSION	2,000 kg
KIND & SIZE	AW 55 mm <sup>2</sup>
SECTIONAL AREA	55 mm <sup>2</sup>
DIA METER	9.6 mm
WEIGHT	0.3747 kg/m
MAXIMUM WORKING TENSION	350 kg
STRINGING TYPE	TENSION
DIMENSION	Φ254mm x 146 mm
NUMBER	12 UNITS x 2 STRINGS
WEIGHT	370 kg / 2 STRINGS
TOWER	110 kg/m <sup>2</sup>
WIRE	40 kg/m <sup>2</sup>
ISULATOR STRING	5.0 / 2 STRINGS

## APPROXIMATE WEIGHT (kg)

TYPE	EXTENSION	BODY	SUPER	STRUCTURE	LEG	LEG	STUB	LEG
			①	②	③	④		
A	-3	4970	+0.150	(1110)		+0.300	135	135
	+0		+1.5 240	(1110)		+3.0 300		
B	-3	4970	+0.150	(1110)		+0.300	135	135
	+0		+1.5 380	(1110)		+3.0 470		
C	-3	6110	+0.210	(1110)		+0.350	135	135
	+0		+1.5 320	(1110)		+3.0 410		
D	-3	6110	+0.210	(1110)		+0.350	135	135
	+0		+1.5 460	(1110)		+3.0 550		
E	-3	7520	+0.250	(1110)		+0.370	135	135
	+0		+1.5 470	(1110)		+3.0 670		

$$\text{TOTAL WEIGHT} = ① + ② \times 4 + ③ \times 6 \\ ( ) : \text{HH - TYPE}$$



E5

MEMBERS

WITHOUT MARK = L 45 x 4

30LT

- WITHOUT MARKS M16 - 1.

#### MATERIALS

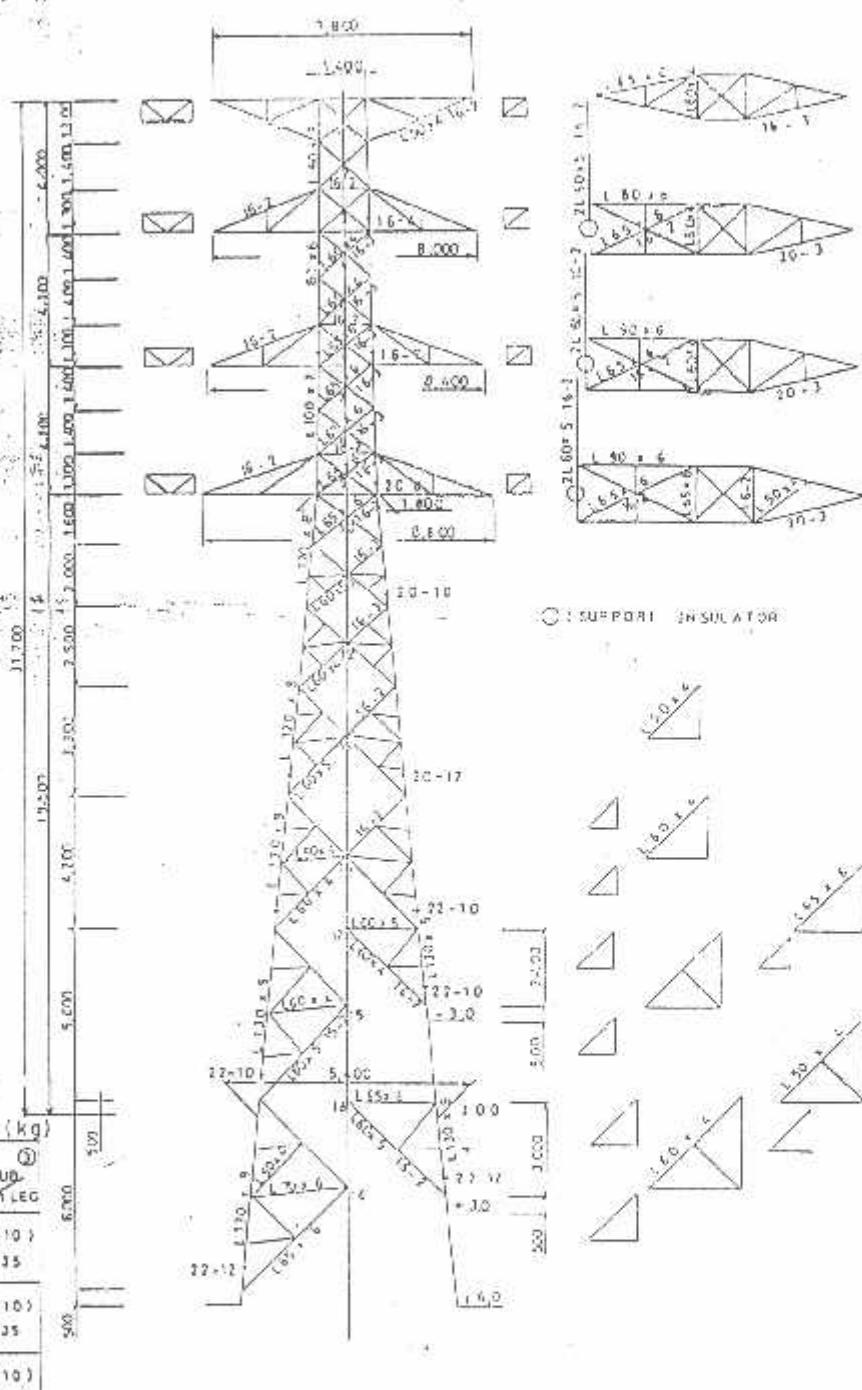
SS-41 L 45x4 - L 65x6, M 16

5550 M20, M22

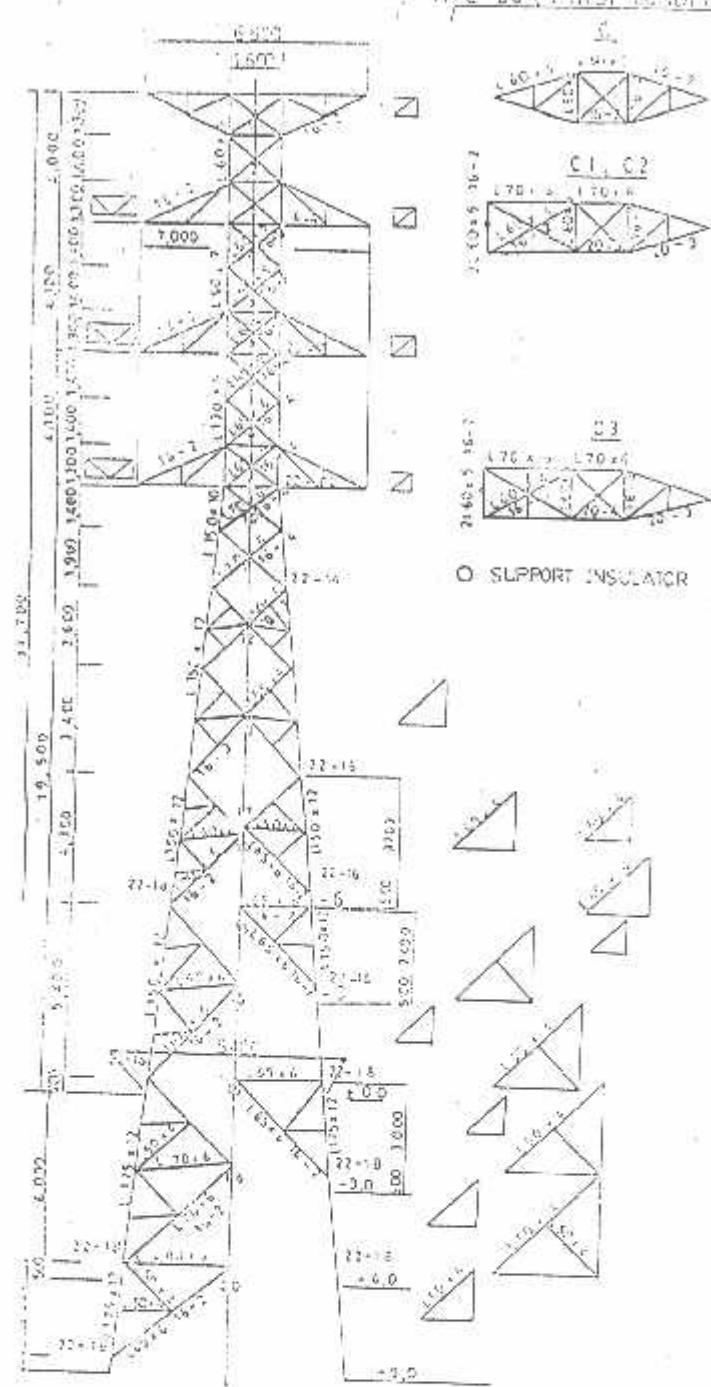
5555 MED. MTL  
5555 L77X6 UP

100

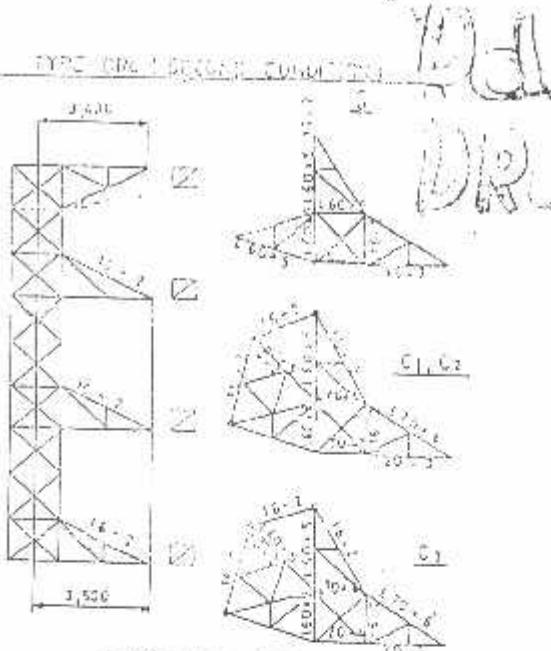
DESIGN CONDITION	
AGE	15.0 yr
END OF CIRCUITS	3 CCF
END SPAN	6.00 m
HORIZONTAL ANGLE END	45° ± 35°
ICAL LOAD	0.35 T
KIND B SIZE	AESATAW 260 mm <sup>2</sup>
SECTIONAL AREA	140 mm <sup>2</sup>
DIAHETER	22.4 mm
WEIGHT	1,042 kg
MAXIMUM WORKING TENSION	2,800 kg
KIND B SIZE	AW 55 mm <sup>2</sup>
SECTIONAL AREA	55 mm <sup>2</sup>
DIAHETER	9.6 mm
WEIGHT	0.2741 kg
MAXIMUM WORKING TENSION	1,330 kg
STRANDING TYPE	TENSION
DIMENSION	635 mm ± 16 mm
NUMBER	9 UNITS x STRING
WEIGHT	170 kg STRING
POWER	116 kg/m <sup>2</sup>
WIRE	40 kg/m <sup>2</sup>
INSULATOR / STRING	50 kg STRING



TOTAL WEIGHT = ① + ② x 4 + ③ x 4  
( ) : HH TYPE



SUPPORT INSULATOR



APPROXIMATE WEIGHT (kg)

DOI: 10.2147/SPAA.S215126

DESCRIPTION		FIRST CONDITION		SECOND CONDITION	
YARDAGE				150	60
NUMBER OF CIRCUITS				3	1
GARDEN STRAIN	120			250	100%
HORIZONTAL SPAN	600' 1.00' 100'			1000' 0.75' 100'	
VERTICAL LOAD	6 T			6 T	6 T
SIZE B SIZE	A 250 MM				
SECTIONAL AREA	340 mm <sup>2</sup>				
DIA METER	22.4 mm				
WEIGHT	1.612 kg/m				
MAXIMUM WORKING TENSION	STB 1000 3,800 kg	2,800 kg	1,000 kg		
SIZE B SIZE	A W 55 mm <sup>2</sup>				
SECTIONAL AREA	55 mm <sup>2</sup>				
DIA METER	9.1 mm				
WEIGHT	0.1347 kg/m				
MAXIMUM WORKING TENSION	1,100 kg	1,070 kg	500 kg		
STRANDING TYPE	TENSION				
DIMENSIONS	1.250 mm x 146 mm				
NUMBER	17 UNITS x 2 STRINGS				
WEIGHT	STB 52 kg/STRINGS				
TOWER	110 kg/m <sup>2</sup>				
WIRE	60 kg/m <sup>2</sup>				
INSULATOR STN NO!	60 45 / 751 NO!	60 55	/ 751 NO!	60 55	/ 751 STRINGS

GROUND WIRE

Karakteristik ground wire sebagai berikut :

JENIS	GROUND WIRE			
	AW	GSW1	GSW2	CU
PENAMPANG NOMINAL ( $\text{mm}^2$ )	55	55	38	
JUMLAH DAN DIAMETER KOMPONEN (BUAH/mm)	7/3,2	7/3,2	7/2,6	
DIAMETER LUAR (mm)	9,6	9,6	7,8	
BERAT (kg/km)	375	444	293	
BREAKING STRENGTH $T_o$ (kg)	6.930	4.660	3.080	
PEMAKAIAN CONDUCTOR	ACSR/AW 330 $\text{mm}^2$	ACSR OSTRICH 300 MCM	ACSR PIGEON	CU 50 $\text{mm}^2$
TARIKAN KERJA MAXIMUM $T$ (kg)	1.220	1.420	1.000	680
ANDONGAN UNTUK SPAN STANDARD 10° C dG (m)	5,81	5,58	5,50	6,44
ANDONGAN CONDUCTOR PADA 10° C, d (m)	7,73	7,44	7,26	8,64
SPAN STANDARD (m)	350	350	350	300
$T/T_o$ (%)	17,5	30,5	32,5	22,1
dG/d (%)	75,1	75	75,8	74,

