

## **TUGAS AKHIR**

### **STUDI ANALISA GANGGUAN HUBUNGAN SINGKAT SATU FASA KETANAH AKIBAT SAMBARAN PETIR PADA SALURAN TRANSMISI 150 Kv PADA PT. PLN PERSERO GI TITI KUNING**

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

**RAMADHAN KARO-KARO**

**NPM : 1207220004**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017**

## ABSTRAK

*Setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran aliran arus yang normal disebut gangguan. Sebagian besar dari gangguan-gangguan yang terjadi pada saluran transmisi bertegangan 115Kv atau oleh disebabkan oleh petir, yang menyebabkan terjadinya percikan bunga api (flashover) pada isolator. Tegangan tinggi yang ada diantara penghantar dan menara atau tiang penyangga yang diketanahkan (grounded) menyebabkan terjadinya ionisasi. Ini memberikan jalan bagi muatan listrik yang diinduksi (diimbangi) oleh petir mengalir ketanah. Dengan terbentuknya jalur ionisasi ini, impedansi ketanah menjadi rendah. Ini memungkinkan mengalirnya arus fasa dari penghantar ketanah, dan melalui tanah menuju netralnya. Gangguan langsung dari fasa ke fasa tanpa melalui tanah jarang terjadi. Angka pengalaman menunjukkan bahwa kira-kira 70% dan 80% dari gangguan saluran transmisi adalah gangguan tunggal dari saluran ketanah yang terjadi karena flashover dari satu saluran saja ke menara dan tanah.*

Kata kunci : Gangguan hubung singkat satu fasa ketanah akibat sambaran petir

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum wr.wb*

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah "***Studi Analisa Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah Akibat Sambaran Petir Pada Saluran Transmisi 150 kV Pada PT.PLN (Persero) GI Titikuning.***"

Selesaiannya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. Bapak Rahmatullah, S.T, M.Sc. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Rohana, S.T, M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Bapak Zulfikar, S.T, M.T. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Sekaligus Sebagai Pembimbing II Dalam Penyelesaian Tugas Akhir Ini.
5. Ibu IR.Yusniati,M.T. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.

6. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman-teman Seperjuangan Fakultas Teknik, Khususnya TEKNIK ELEKTRO A-1 Pagi 2012 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alakum wr.wb*

Medan, April 2017

Penulis

RAMADHAN KARO KARO

1207220004

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penulisan .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	6
2.2 Landasan Teori .....	9
2.2.1 Saluran Transmisi.....	9
2.2.2 Bagian-Bagian Saluran Transmisi .....	11
1. Tiang Transmisi atau Menara .....	11
2. Isolator .....	13
3. Kawat Penghantar Untuk Saluran Transmisi Udara .....	15

4. Kawat Tanah .....	17
2.3 Arester .....	17
2.3.1 Arester Jenis Ekspulsi atau Tabung Pelindung .....	18
2.3.2 Arester Jenis Katub .....	19
2.3.3 Pemilihan Arester .....	22
2.3.4 Pengenal Arester .....	26
2.3.5 Jarak Maksimum Arester Dngan Peralatan .....	26
2.4 Kuantitas Perunit .....	29
2.4.1 Mengubah Dasar Kuantitas Perunit .....	30
2.5 Mekanisme Terjadinya Petir .....	31
2.6 Macam-Macam Petir .....	34
2.6.1 Berdasarkan Polaritas Muatan .....	35
2.6.2 Berdasarkan Arah Sambaran .....	36
2.6.3 Berdasarkan Jenis Sambaran .....	37
2.7 Faktor-Faktor Penyebab Gangguan dan Akibatnya .....	39
2.7.1 Gangguan satu Fasa Ketanah .....	41
2.7.2 Gangguan Sambaran petir Pada saluran Transmisi Udara .....	43
2.7.3 Jumlah Sambaran Petir .....	45
2.7.4 Penangkapan Petir Oleh Saluran Transmisi .....	46
2.8 Jala-Jala Urutan Nol .....	48

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	51
3.2 Peralatan Penelitian .....	51

3.3 Data Penelitian .....	52
3.4 Jalannya Penelitian.....	52
 <b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisa Single Line Gardu Induk Titi Kuning.....	55
4.2 Perhitungan Arus hubung Singkat satu Fasa Kitanah .....	56
 <b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran.....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>62</b>
 <b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>		<b>Halaman</b>
Gambar 2.1	Konstruksi Tiang Untuk Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).....	12
Gambar 2.2	Isolator Piring.....	13
Gambar 2.3	Isolator Tonggak Saluran Horizontal .....	14
Gambar 2.4	Isolator Tonggak Saluran Vertikal .....	14
Gambar 2.5	Arester jenis ekspulsi .....	19
Gambar 2.6	Arester Katub Jenis Gardu .....	20
Gambar 2.7	Arester Katub Jenis Saluran .....	21
Gambar 2.8	Arrester Katup Jenis Distribusi Untuk Mesin-Mesin .....	22
Gambar 2.9	Transformator dan Arester terpisah sejarak S .....	27
Gambar 2.10	Tahapan Proses Sambaran Petir .....	33
Gambar 2.11	Polaritas Muatan Petir Pada Sambaran Kestanah .....	35
Gambar 2.12	Tipikal Arah Sambaran Petir.....	37
Gambar 2.13	Jenis-Jenis Sambaran Petir .....	38
Gambar 2.14	Gangguan Kawat – Tanah.....	42
Gambar 2.15	Jala-Jala Urutan Gangguan Kawat Tanah .....	43
Gambar 2.16	Lebar Jalur Perisaian Terhadap Sambaran Kilat .....	47
Gambar 2.17	Rangkaian-Rangkaian Ekvivalen Urutan Nol Banks Transformer Tiga Fasa, Bersama Dengan Hubungan Dan Lambang-Lambangnya Untuk Diagram Segaris .....	50
Gambar 3.1	Flowchart Penelitian.....	53
Gambar 3.2	Flowchart Penyusunan Tugas Akhir .....	54
Gambar 4.1	One Line Diagram Gardu Induk Titi Kuning .....	55
Gambar 4.2	Reaktansi Urutan Positif.....	58
Gambar 4.3	Reaktansi Urutan Negatif.....	59
Gambar 4.4	Reaktansi Urutan Nol.....	59



**DAFTAR TABEL**

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Daftar kawat yang dipergunakan untuk SUTT .....	17
Tabel 2.2 Pengenal arrester dan tegangan sistem.....	24
Tabel 2.3 Probabilitas keberhasilan sambaran petir.....	45
Tabel 2.4 Rumus-rumus kecepatan sambaran petir .....	45

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan system arus bolak-balik ac di Amerika serikat dimulai pada tahun 1885, ketika George Westinghouse membeli patent-patent Amerika yang meliputi system transmisi arus bolak-balik yang dikembangkan oleh L. Gaulard dan J.D Gibbs dari paris. William Stenley, seorang rekan usaha Westinghouse yang terdahulu menguji transformator-transformator di laboratoriumnya di Great Beringtone, Massachuessets, disana pada musim dingin tahun 1885-1886 Stenley memasang system distribusi ac percobaan pertama yang memberikan yang memberikan tenaga listrik kepada 150 buah lampu dalam kota. Saluran transmisi ac yang pertama di Amerika di operasikan pada tahun 1890 untuk membawa listrik yang dibangkitkan oleh tenaga air, sejauh 13 mil dari Willamette Falls ke Portland, Oregon. Saluran pertama hanya berfasa tunggal, dan dayanya biasanya hanya dipakai untuk penerangan saja.

Saluran transmisi biasanya dibedakan dari saluran distribusi karena tegangannya. Di jepang saluran transmisi mempunyai tegangan 7 kV keatas, sedang saluran distribusi 7 kV kebawah. Di Amerika serikat terkenal tiga jenis saluran yakni saluran distribusi dengan tegangan primer 4 sampai 23 kV, saluran subtransmisi dengan tegangan 13 sampai 138 kV, dan saluran transmisi dengan tegangan 34,5 keatas. Saluran transmisi yang bertegangan 380 kV sampai 765 kV dinamakan saluran Ekstra High Voltage (EHV) yang bertegangan diatas 765 kV dinamakan tegangan Ultra High Voltage (UHV). Keuntungan transmisi dengan

tegangan yang lebih tinggi akan menjadi jelas jika kita melihat pada suatu saluran transmisi. Kemampuan suatu transmisi dengan tegangan tidak dapat diterapkan dengan pasti, karena kemampuan ini masih tergantung pada batasan-batasan termal dari penghantar jatuh tegangan. Penurunan tegangan dari tingkat transmisi pertama-tama terjadi pada stasiun pembantu bertenaga besar, dimana tegangan diturunkan pada daerah 34,5 dan 138 kV, sesuai dengan tegangan saluran transmisi.

Setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal disebut gangguan. Sebagian besar dari gangguan-gangguan yang terjadi pada saluran transmisi bertegangan 115 kV, atau lebih disebabkan oleh petir, yang menyebabkan terjadinya percikan bunga api (flasover) pada isolator. Tegangan tinggi yang ada diantar penghantar dan menara atau tiang penyangga yang diketanahkan (grounded) menyebabkan terjadinya ionisasi. Ini memberikan jalan bagi muatan listrik yang diinduksi (diimbasi) oleh petir mengalir ke tanah. Dengan terbentuknya jalur ionisasi ini, impedansi ketanah menjadi rendah. Ini memungkinkan mengalirnya arus fasa dari penghantar ke tanah dan melalui tanah menuju netralnya, gangguan langsung dari fasa ke fasa tanpa melalui tanah jarang terjadi. Angka pengalaman menunjukkan bahwa kira-kira 70% dan 80% dari gangguan saluran transmisi adalah gangguan tunggal dari saluran ke tanah yang terjadi karena flashover dari satu saluran saja ke menara dan tanah.

Gangguan yang disebabkan oleh petir biasanya berlangsung sangat singkat sehingga jika ada suatu pemutus rangkaian (circuit breaker) yang membuka, sesudah beberapa siklus pemutus ia akan menutup kembali secara otomatis dan keadaan kembali normal. Jika gangguannya bersifat permanent, bagian yang

terganggu harus diputuskan agar keseluruhan system lainnya dapat tetap bekerja dengan normal. Sumatera utara memiliki potensi sambaran petir yang cukup tinggi khususnya didaerah dataran tinggi brastagi yang termasuk dalam kawasan Gardu Induk (GI) TitiKuning. Gardu Induk TitiKuning merupakan salah satu Gardu Induk yang berada di Sumatera utara yang mengontrol pasokan listrik didaerah TitiKuning. Namurambe, brastagi 1 dan brastagi 2.

Berdasarkan uraian diatas maka judul penelitian ini akan membahas tentang Studi analisa gangguan hubung singkat satu fasa ketanah akibat sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV pada PT. PLN Persero GI TitiKuning, dengan tujuan agar dapat dimanfaatkan oleh petugas gardu Induk dalam meningkatkan kualitas sistem kelistrikan di Sumatera utara.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang dapat dikemukakan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah akibat sambaran petir pada saluran transmisi .
2. Berapa besar arus gangguan satu fasa ke tanah yang terjadi pada saluran transmisi 150 kV

## **1.3 Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah

1. Menganalisa gangguan hubung singkat satu fasa ketanah akibat sambaran petir pada saluran transmisi.

2. Menganalisa besar arus gangguan satu fasa ke tanah yang terjadi pada saluran transmisi 150 kV.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan-batasan masalah yang dibahas dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Gangguan satu fasa ke tanah pada saluran transmisi yang disebabkan oleh sambaran petir.
2. Analisis besar arus gangguan satu fasa ke tanah pada saluran transmisi 150 kV.

#### **1.5 Metodologi**

Metodologi yang digunakan pada penelitian tugas ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dasar teori yang menunjang dalam penulisan Tugas Akhir. Dasar teori ini dapat diambil dari buku-buku, jurnal, prosiding, dan artikel-artikel dari internet.

2. Pengumpulan data

Meliputi pengumpulan data pembebanan dan data laporan harian jaringan distribusi PT. PLN G.I Titi Kuning

3. Penyusunan Tugas Akhir.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

## BAB I PENDAHULUAN

Membahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, metode penelitian, dan sistematika penulisan dari Tugas Akhir ini.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan bab yang memuat landasan teori dari pada gangguan hubung singkat akibat sambaran petir pada saluran transmisi.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Melakukan riset di Gardu induk Titi Kuning yang berkaitan dengan data, dan membahas tentang probabilitas gangguan yang terjadi akibat sambaran petir, berapa besar arus yang mengalir akibat sambaran petir, serta besarnya arus gangguan satu fasa ketanah.

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang jenis pengamanan yang yang digunakan pada saluran transmisi untuk mengatasi gangguan hubung singkat akibat sambaran petir tersebut.

## BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran yang didapat dari pembuatan tugas akhir ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Pada sistem tenaga listrik dikenal adanya gangguan sistem yang berasal dari dalam dalam sistem dan dari luar sistem. Gangguan dari luar sistem umumnya disebabkan oleh gangguan petir, dan gangguan ini akan semakin nyata pada saluran transmisi tegangan tinggi. Gangguan yang ditimbulkan oleh petir pada komponen system tenaga listrik adalah: pertama, membangkitkan tegangan yang melewati komponen sistem tenaga akan menjadi semakin besar, sehingga menimbulkan hubung singkat dari sistem dan selanjutnya dapat menembus isolasi dari peralatan. Kedua, energy sambaran petir dapat melewati batas kemampuan komponen sistem tenaga, kerusakan yang dapat ditimbulkan adalah peretakan dan pelelehan. Sebagaimana diketahui bahwa Indonesia merupakan daerah tropic dimana hari guruh pertahun lebih tinggi dibandingkan Negara seperti diamerika dan Eropa (Syakur dan Sukmadi, 2000:2) menurut badan meteorology dan geofisika tingkat hari guruh pertahun adalah 25 sampai 200. Kisaran ini menunjukkan adanya kecenderungan jumlah sambaran petir yang tinggi. Oleh karena itu, desain peralatan tegangan tinggi khususnya tiang transmisi mejadi perhatian utama agar gangguan transien akibat sambaran petir dapat diminimalisasi. Ada beberapa metoda yang dapat digunakan untuk menganalisis sambaran petir, diantaranya adalah menggunakan diagram tangga lattice yang diperkenalkan oleh L.V. Bewley (Jetry 2002).

Petir merupakan suatu fenomena dan arus tegangan tinggi yang terjadi dalam waktu yang amat singkat (impuls). Petir bermula dari ionisasi hingga loncatan muatan dari awan, ketanah atau sebaliknya, sifat petir yang selalu melepaskan muatan awan kebenda yang terdekat dengan awan yang menyebabkan benda dengan ketinggian yang cukup besar akan memiliki peluang yang cukup besar untuk tersambar. Peristiwa pelepasan muatan tersebut dinamakan sambaran petir dampak fenomena yang terjadi dalam hitungan *mikrosekon* ini dapat mengakibatkan kebakaran, kerusakan isolasi, bahkan kematian, sedangkan dampak tidak langsungnya dapat berupa kerusakan pada piranti peralatan elektronik instrumentasi, komunikasi dan kontrol. Maka dari itu dibutuhkan desain metode proteksi petir yang handal dan se-efisien mungkin metode *collection volume* merupakan salah satu metode untuk memprediksi lokasi sambaran petir pada suatu tempat atau gedung yang dinilai handal saat ini. Petir merupakan fenomena alam yang berupa gelombang elektromagnetik dengan arus dan tegangan yang sangat tinggi akibat dari sifat petir yang selalu melepaskan muatan dari awan kebenda yang terdekat dengan awan menyebabkan suatu obyek yang besar akan memiliki probabilitas yang besar pula untuk disambar oleh petir. Wilayah Indonesia pada umumnya memiliki curah hujan yang cukup tinggi dan jumlah yang besar, menurut Iso Kraunik Level (IKL) besarnya yaitu 30 sampai 120, hal ini dikarenakan letak geografis yang berpengaruh pada cuaca, musim, gerakan masa udara di atmosfer, kondisi udara dan kondisi permukaan tanah/bumi(Yudi ugahari 2006).

Setiap kesalahan dalam suatu rangkaian yang menyebabkan terganggunya aliran arus yang normal disebut gangguan. Sebagian besar terjadinya gangguan-



gangguan yang terjadi pada saluran transmisi bertegangan 115 kV atau lebih disebabkan oleh petir, yang menyebabkan terjadinya percikan bunga api (flashover) pada isolator. Tegangan tinggi yang ada di penghantar dan menara atau tiang penyangga yang diketanahkan (grounded) menyebabkan terjadinya ionisasi. Ini memberikan jalan bagi muatan listrik yang diinduksi (diimbangi) oleh petir mengalir ke tanah. Dengan terbentuknya jalur ionisasi ini, impedansi ke tanah menjadi rendah. Ini memungkinkan mengalirnya arus fasa dari penghantar ke tanah dan melalui tanah menuju “netralnya”. Gangguan langsung dari fasa ke fasa tanpa melalui tanah jarang terjadi. Angka pengalihan menunjukkan bahwa kira-kira 70% dan 60% dari gangguan saluran transmisi adalah gangguan tunggal dari saluran ke tanah yang terjadi karena flashover dari satu saluran saja ke menara dan tanah (jubilater 2009).

Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga listrik yang menyebabkan arus yang mengalir menjadi lebih besar, sehingga dapat merusak peralatan bila tidak dilengkapi dengan sistem proteksi yang tepat. Penelitian ini membahas tentang tentang arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada titik gangguan 10% sampai dengan 100% dari panjang saluran, dan menghitung *setting* proteksi *Over Current Relay* (OCR) berdasarkan arus gangguan yang terjadi. Perhitungan dilakukan secara manual dan menggunakan program Matlab, aplikasi GI PIP-Pauh Limo dengan panjang saluran 22,7 km dari hasil perhitungan diperoleh jika gangguan semakin dekat dengan sumber atau gangguan pada titik 10%, maka arus gangguan akan semakin besar, jika arus gangguan semakin jauh dari sumber atau gangguan pada titik 100% maka arus gangguan akan semakin kecil untuk memproteksi saluran

transmisi tersebut terhadap arus gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah, maka digunakan relay OCR, dengan setingan waktu relay 0,65s pada sisi masukan dan keluaran (amira 2012).

Sambaran petir bias menyebabkan kegagalan perlindungan pada gardu induk seperti terjadinya *flashover* dan kerusakan peralatan di gardu induk, akibatnya adalah terjadinya gangguan pasokan listrik dan kerugian ekonomi yang cukup besar. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi sambaran petir untuk meminimalisir sambaran petir langsung ke peralatan dan bus didalam gardu induk. Pemodelan perlindungan gardu induk dari sambaran petir langsung menggunakan metode bola bergulir di gardu induk 150 kV Ngimbang Lamongan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dengan konfigurasi pemakaian kawat tanah setinggi 18 meter dengan jarak pisah 14 meter seperti yang sudah ada di GI 150 kV Ngimbang Lamongan telah aman dari sambaran peetir langsung, kemudian diberikan alternative perlindungan lain yaitu dengan memasang *lightning wast* (tiang penangkal petir). *Lightning wast* yang dibutuhkan sebanyak 23 buah dengan tinggi 26 m (dahliana 2014).

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Saluran Transmisi**

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama : pusat-pusat pembangkit listrik, saluran-saluran transmisi, dan sistem-sistem distribusi. Saluran-saluran transmisi merupakan rantai penghubung antara pusat-pusat pembangkit listrik dan sistem-sistem distribusi, dan melalui hubungan-hubungan antar sistem dapat pula menuju ke sistem tenaga yang lain. Suatu sistem distribusi

menghubungkan semua beban-beban yang terpisah satu dengan yang lain kepada saluran-saluran transmisi.

Tegangan pada generator-generator besar biasanya berkisar diantara 13,8 kV dan 24 kV. Tetapi generator-generator besar yang modern dibuat dengan tegangan yang bervariasi antara 18 dan 24 kV. Tidak ada suatu standar yang umum diterima untuk tegangan-tegangan generator. Tegangan generator dinaikkan ke tingkat-tingkat yang dipakai untuk transmisi yaitu antara 115 dan 765 kV. Tegangan-tegangan tinggi standar (high voltage – HV standard) adalah 115, 138, dan 230 kV. Tegangan-tegangan tinggi-ekstra (extra high voltage – EHV) adalah 345, 500 dan 765 kV. Kini sedang dilakukan penelitian untuk pemakaian tegangan-tegangan tinggi ultra yaitu diantara 1000 dan 500 kV (ultra high voltage – UHV). Keuntungan dari transmisi dengan tegangan yang lebih tinggi akan menjadi jelas jika kita melihat pada kemampuan transmisi (transmission capability) dari suatu saluran transmisi. Kemampuan ini biasanya dinyatakan dalam megavolt ampere (MVA). Kemampuan transmisi dari suatu saluran dengan tegangan tertentu tidak dapat ditetapkan dengan pasti, karena kemampuan ini masih tergantung lagi pada batasan-batasan (limit) thermal dari penghantar, jatuh tegangan (voltage drop) yang diperbolehkan keterandalan, dan persyaratan-persyaratan kestabilan sistem (system stability), yaitu penjagaan bahwa mesin mesin pada sistem tersebut tetap berjalan serempak satu terhadap yang lain. Kebanyakan faktor- faktor ini masih tergantung pula pada panjangnya saluran.

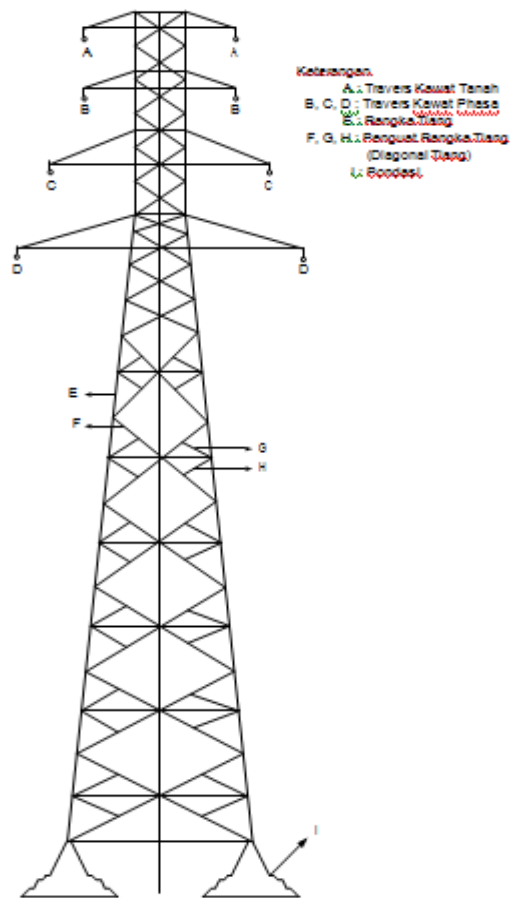
### **2.2.2 Bagian – Bagian Saluran Transmisi**

Adapun komponen-komponen utama dari saluran transmisi terdiri dari

#### **1) Tiang Transmisi atau Menara**

Pada suatu Sistem Tenaga Listrik, energi listrik yang dibangkitkan dari pusat pembangkit listrik ditransmisikan ke pusat-pusat pengatur beban melalui suatu saluran transmisi, saluran transmisi tersebut dapat berupa saluran udara atau saluran bawah tanah, namun pada umumnya berupa saluran udara. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekelilingnya, dan untuk menyanggah/merentang kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara/tower.

Konstruksi tower besi baja merupakan jenis konstruksi saluran transmisi tegangan tinggi (SUTT) ataupun saluran transmisi tegangan ekstra tinggi (SUTET) yang paling banyak digunakan di jaringan PLN (Gambar 2.1), karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah pegunungan dan jauh dari jalan raya, harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan penggunaan saluran bawah tanah serta pemeliharaannya yang mudah.



Gambar 2.1 konstruksi tiang untuk Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Namun demikian perlu pengawasan yang intensif, karena besi-besinya rawan terhadap pencurian. Seperti yang telah terjadi di beberapa daerah di Indonesia, dimana pencurian besi-besi baja pada menara/tower listrik mengakibatkan menara/tower listrik tersebut roboh, dan penyaluran energi listrik ke konsumen pun menjadi terganggu. Suatu menara atau tower listrik harus kuat terhadap beban yang bekerja padanya, antara lain yaitu:

- Gaya berat tower dan penghantar (gaya tekan).
- Gaya tarik akibat rentangan kawat.
- Gaya angin akibat terpaan angin pada kawat maupun badan tower.

## 2) Isolator

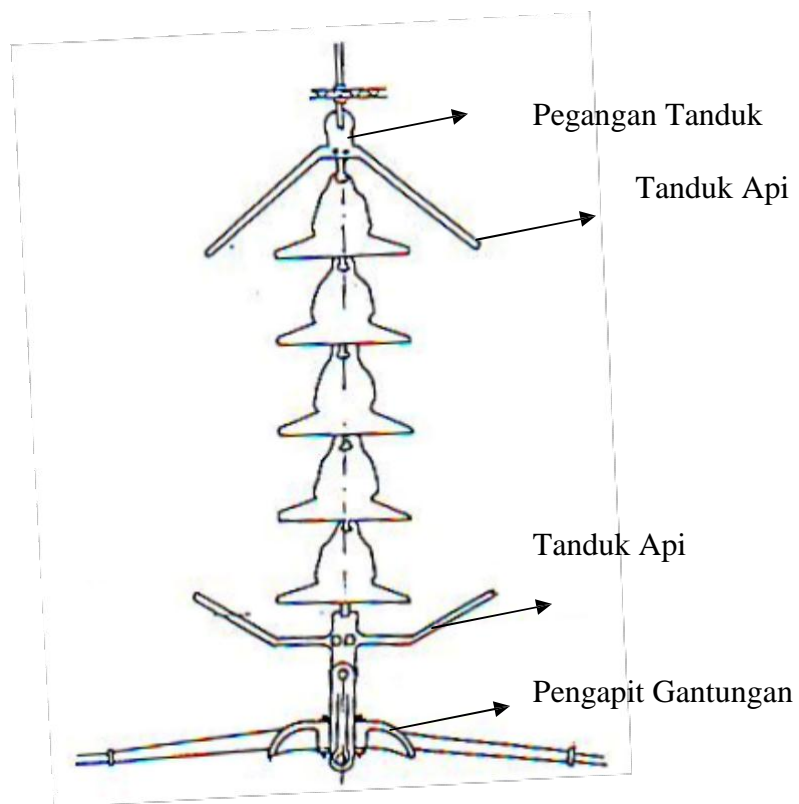
Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi pada umumnya adalah jenis porselin atau gelas yang berfungsi sebagai tegangan listrik antara kawat penghantar dan tiang.

Macam-macam isolator yang digunakan pada saluran udara tegangan tinggi adalah sebagai berikut:

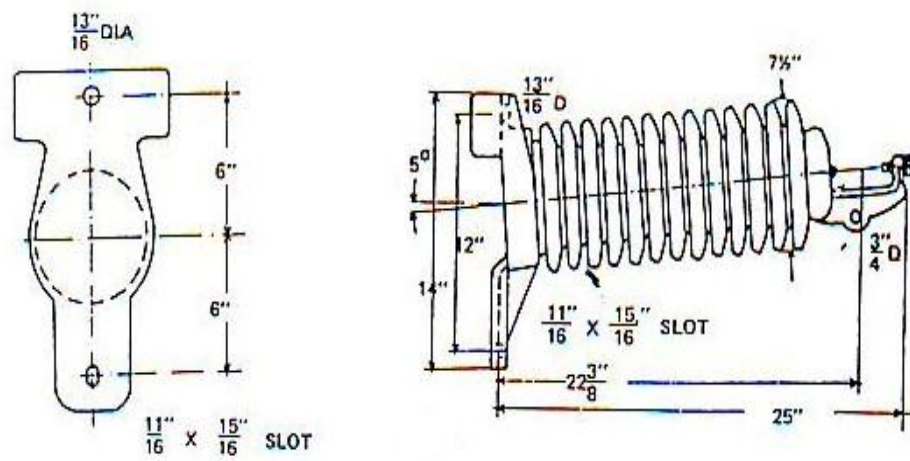
- isolator piring

isolator piring dipergunakan untuk isolator penegang dan isolator gantung, dimana jumlah piringan isolator disesuaikan dengan tegangan sistem pada saluran udara tegangan tinggi tersebut (gambar 2.2)

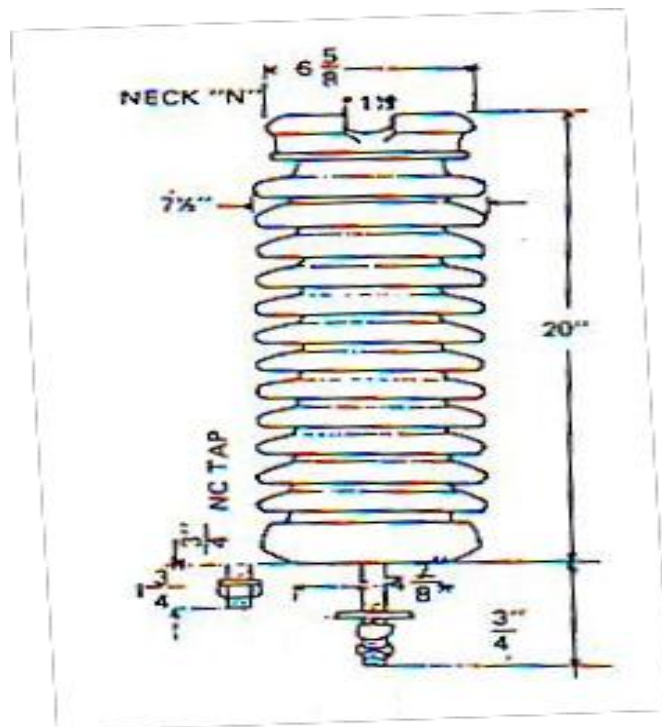
- Isolator tonggak saluran vertikal (gambar 2.3)
- Isolator tonggak saluran horizontal (gambar 2.4)



Gambar 2.2. Isolator Piring



Gambar 2.3. Isolator Tonggak Saluran Horizontal



Gambar 2.4. Isolator Tonggak Saluran Vertikal

### 3) Kawat Penghantar Untuk Saluran Transmisi Udara

Kawat penghantar berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari suatu tempat ke tempat yang lain. Jenis kawat penghantar kawat yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (CU 100%), atau alumunium mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar alumunium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah, untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari alumunium, dan juga lebih mahal. Oleh karena itu kawat alumunium telah menggantikan kedudukan tembaga.

#### 3.1. Klasifikasi Kawat Menurut Konstruksinya

Yang dinamakan kawat padat (solid wire) adalah kawat tunggal yang padat (tidak berongga) dan berpenampang kuat jenis ini hanya dipakai untuk penampang-penampang yang kecil, karena penghantar-penghantar yang berpenampang besar sukar ditangani serta kurang *flexible*.

Apabila diperlukan penampang yang besar, maka dipergunakan 7 sampai 61 kawat padat yang dililit menjadi satu, biasanya secara berlapis dan konsentris. Tiap-tiap kawat padat merupakan kawat komponen dari kawat berlilit tadi. Apabila kawat-kawat komponen itu sama garis tengahnya maka persamaan-persamaan berikut berlaku:

$$N = 3n(1+n) + 1 \dots\dots\dots (2.1)$$



$$D = d (1 + 2n) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$A = an \dots\dots\dots (2.3)$$

$$W = wn (1+k1) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$R = (1+k2) r/N \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana: N = jumlah kawat komponen

n = jumlah lapisan komponen

D = garis tengah luar dari kawat berlilit

d = garis tengah kawat komponen

A = luas penampang kawat berlilit

W = berat kawat berlilit

w = berat kawat komponen per satuan panjang

k1 = perbandingan berat terhadap lapisan

R = tahanan kawat berlilit

r = tahanan kawat komponen per satuan panjang

k2 = perbandingan tahanan terhadap lapisan

Kawat rongga (hollow conductor) adalah kawat berongga yang dibuat untuk mendapatkan garis tengah luar yang besar. Ada dua jenis kawat rongga:




- a. Yang rongganya dibuat oleh kawat lilit yang ditunjang oleh sebuah batang, dan.
- b. Yang rongganya dibuat oleh kawat-kawat komponen yang membentuk segmen-segmen sebuah silinder.

### 3.2. Klasifikasi Kawat Menurut Bahannya

Kawat logam biasa dibuat dari logam-logam biasa seperti tembaga, aluminium, besi, dan sebagainya.

Kawat logam campuran (alloy) adalah penghantar dari tembaga atau aluminium yang diberi campuran dalam jumlah tertentu dari logam jenis lain guna menaikkan kekuatan mekanisnya. Yang paling sering digunakan adalah “copper alloy”, tetapi “aluminium alloy” juga lazim dipakai

Table 2.1. : Daftar kawat yang dipergunakan untuk saluran udara tegangan tinggi (SUTT)

Kode	Penampang Kawat(mm <sup>2</sup> )	Baja	Aluminium	Gambar penampang kawat
Hen Oriole Piper	298,07 210,26 187,48	7 x 3,20 mm 7 x 2,69 mm 7 x 2,54 mm	30 x 3,20 mm 30 x 2,69 mm 30 x 2,54 mm	
Drake Dove Linnet Ai/st 120/120	468,45 327,94 198,19 141,4	7 x 3,45 mm 7 x 2,89 mm 7 x 2,55 mm 7 x 1,90 mm	2g x 4,44 mm 26 x 3,72 mm 26 x 2,89 mm 26 x 2,44 mm	
Pigeon Raven Swallow	99,22 62,38 31,09	1 x 4,25 mm 1 x 3,37 mm 1 x 2,38 mm	6 x 4,25 mm 6 x 3,37 mm 6 x 2,38 mm	

#### 4) Kawat Tanah

Kawat tanah atau ground wires, juga disebut sebagai kawat pelindung (shield wires) gunanya untuk melindungi kawat-kawat penghantar atau kawat-kawat fasa terhadap sambaran petir. Jadi kawat tanah ini dipasang diatas kawat fasa. Sebagai kawat tanah dipakai kawat baja (steel wires).

## 2.3 Arester

Arrester petir disingkat arrester, atau sering juga disebut penangkap petir, adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap petir. Ia berlaku sebagai jalan pintas (by-pass) sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Jalan pintas itu harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran arus daya sistem 50 Hertz. Jadi pada kerja normal arrester itu berlaku sebagai isolator dan bila timbul surja dia berlaku sebagai konduktor, jadi melewatkan aliran arus yang tinggi. Setelah surja hilang arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga pemutus daya tidak sempat membuka. Arrester juga dapat memutuskan arus susulan tanpa menimbulkan gangguan, inilah salah satu fungsi terpenting dari arrester.

Arrester terdiri dari dua jenis : jenis ekspulsi (expulsion type) atau tabung pelindung (protector tube) dan jenis katub (valve type).

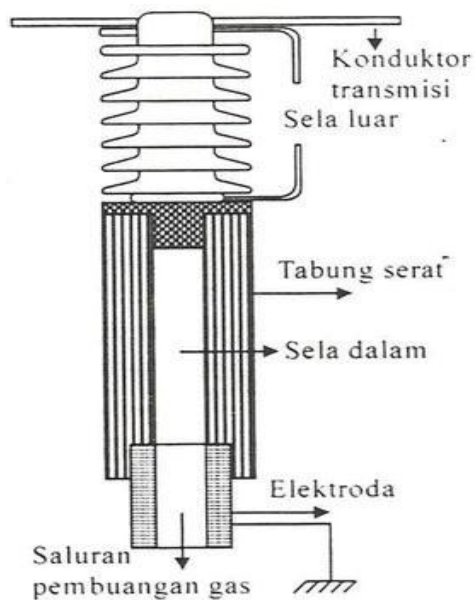
### 2.3.1. Arester Jenis Ekspulsi Atau Tabung Pelindung

Arrester jenis ekspulsi pada prinsipnya terdiri dari sela percik yang berada dalam tabung serat dan sela percik batang yang berada diluar diudara atau disebut sela seriterlihat pada gambar 2.5.

Bila ada tegangan surja yang yang tinggi pada sampai pada jepitan arester kedua sela percik dan membentuk jalan penghantgar dalam bentuk busur api. Jadi arester menjadi konduksi dengan impedansi rendah dan melakukan surja arus dan surja daya sistem bersama-sama. Panas yang timbul karena mengalirnya arus petir menguapkan sedikit dinding tabung serat, sehingga gas yang ditimbulkannya

menyembur pada api dan mematakannya pada waktu arus susulan melewati titik nolnya. Arus susulan dalam arester jenis ini dapat mencapai harga yang tinggi sekali tetapi lamanya tidak lebih dari satu atau dua gelombang, dan biasanya kurang dari setengah gelombang, jadi tidak menimbulkan gangguan.

Arester jenis ekspulsi ini mempunyai karakteristik volt-waktu yang lebih baik dari sela batang dan dapat memutuskan arus susulan. Tetapi tegangan percik susulan tergantung dari tingkat arus hubung singkat dari sistem pada titik dimana arester itu dipasang. Dengan demikian perlindungan dengan arester ini dipandang tidak memadai untuk perlindungan transformator daya, kecuali untuk sistem distribusi. Arrester ini banyak juga digunakan pada saluran transmisi untuk membatasi besar surja yang masuki gardub induk.dalam penggunaan yang terakhir ini arester jenis ini sering sebagai tabung pelindung.



Gambar 2.5 Arester jenis ekspulsi

### 2.3.2 Arester Jenis Katub

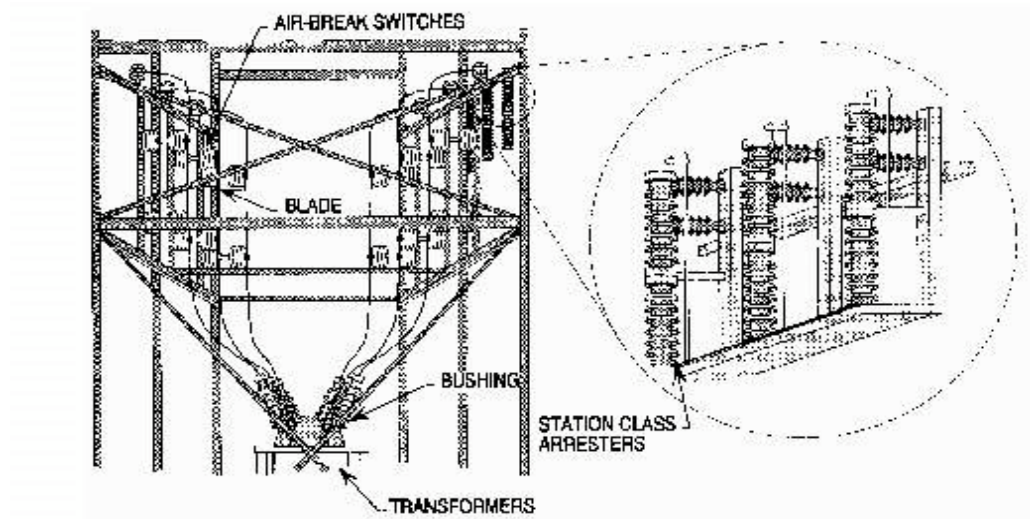
Arrester jenis katub ini terdiri dari sela percik terbagi atau sela seri yang terhubung dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tidak linier. Tegangan frekuensi dasar tidak dapat menimbulkan tembus pada sela seri. Apabila sela seri tembus saat timbulnya suatu surja yang cukup tinggi, alat tersebut menjadi penghantar.

Sela seri itu dapat memutuskan arus susulan, dalam hal ini dia dibantu oleh tahanan tak linier yang mempunyai karakteristik tahanan kecil untuk arus besar dan tahanan besar untuk arus susulan dari frekuensi dasar.

Arrester jenis katub ini terbagi atas tiga jenis yaitu:

#### 1. Arrester katub jenis gardu

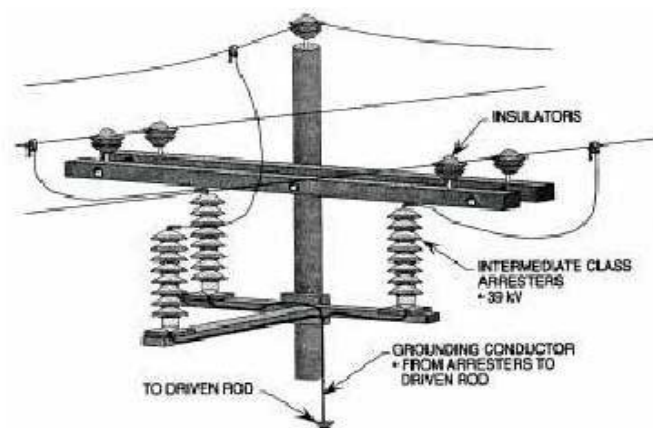
Arrester jenis gardu ini adalah jenis yang paling efisien dan juga paling mahal. Perkataan “gardu” disini berhubungan dengan pemakaian secara umum pada gardu induk besar (gambar 2.6) umumnya dipakai untuk melindungi alat-alat yang mahal pada rangkaian-rangkaian dari 2.400 volt sampai 287 kV dan lebih tinggi.



Gambar 2.6 arrester katub jenis gardu

#### 2. Arrester katup jenis saluran

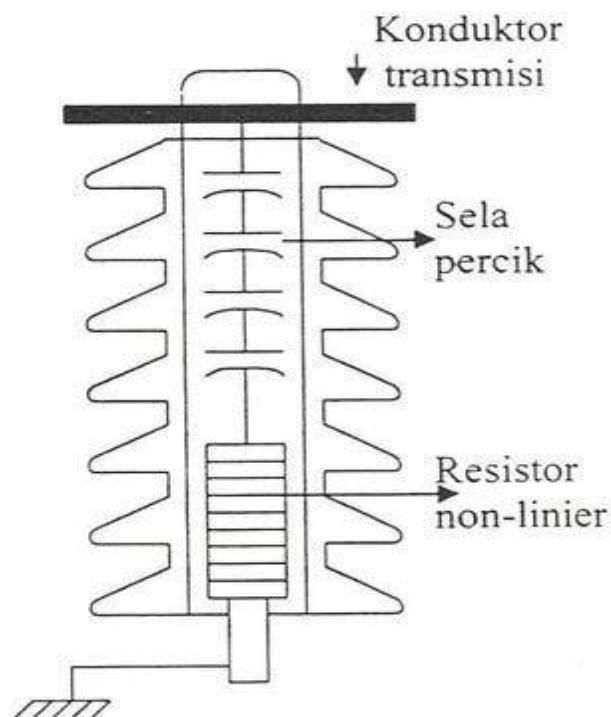
Arrester jenis saluran ini lebih murah dari arrester jenis gardu, kata “saluran” disini bukanlah berarti untuk perlindungan saluran transmisi. Seperti arrester jenis gardu, arrester jenis saluran ini juga dipakai pada gardu induk untuk melindungi peralatan yang kurang penting (gambar 2.7). Arrester jenis saluran ini dipakai pada sistem dengan tegangan 15 kV sampai 69 kV.



Gambar 2.7 arrester katub jenis saluran

### 3. Arrester katub jenis distribusi untuk mesin-mesin

Arrester jenis distribusi ini khusus untuk melindungi mesin-mesin berputar dan juga untuk melindungi transformator dengan pendingin udara tanpa minyak. Arrester jenis ini dipakai pada peralatan dengan tegangan 120 volt sampai 750 volt (gambar 2.8).



Gambar 2.8 arrester katup jenis distribusi untuk mesin-mesin

### 2.3.3 Pemilihan Arester

Faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan arrester yang sesuai untuk keperluan tertentu adalah:

1. Kebutuhan perlindungan: ini berhubungan dengan kekuatan isolasi dari alat yang harus dilindungi dan karakteristik impuls dan arester.
2. MVA *short circuit* yang dinyatakan lewat persamaan  $S = kV \times ka$ .
3. Jenis dari lightning arrester.
4. Tegangan sistem: tegangan maksimum yang mungkin timbul pada jepitan arester.
5. Arus hubung singkat sistem: ini hanya diperlukan pada arester jenis ekspulsi.

6. Jenis arrester: apakah arrester jenis gardu, jenis saluran atau jenis distribusi.
7. Faktor kondisi luar: apakah normal atau tidak normal temperatur dan kelembaban yang tinggi serta pengotoran.
8. Faktor ekonomi: ialah perbandingan antara ongkos, pemeliharaan dan kerusakan bila tidak ada arrester, atau bila dipasang yang lebih rendah mutunya.

Untuk tegangan 69 kV dan lebih tinggi dipakai jenis gardu, sedangkan untuk tegangan 23 kV sampai 69 kV, salah satu jenis diatas dapat dipakai, tergantung pada segi ekonomisnya. Pada penulisan tugas akhir ini dan berdasarkan data diatas maka arrester yang digunakan, adalah arrester katub jenis gardu karena sesuai dengan kemampuan tegangannya yaitu berkisar diatas 69 kV.



Tabel 2.2 Pengenal arester dan tegangan sistem

Pengenal Tegangan Arrester	Tegangan maksimum sistem tiga fasa dimana arester digunakan					
	Sistem yang Diketanahkan		Sistem terisolir			
(1)	A (2)	B (3)	C (4)	D (5)	E (6)	
Volt rms						
175	130 / 260	130 / 260			Tiap kasus membutuh kan studi khusus	
175	260	220				
650	650	650	650	650		
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000 +		
3.000	4.500	3.750	3.000	2.000 +		
6.000	9.000	7.500	6.000	5.500 +		
9.000	12.800	11.250	9.000	8.200 +		
12.000	15.000	15.000	12.000	11.000 +		
15.000	18.000	18.000	15.000	13.000 +		
kV rms						
20	Tidak ada	25	20	18 +		
25		30	25	23 +		
30		37	30	27 +		
37		46	37	34 +		
40		50	40	36 +		
50		60	50	45 +		
60		73	60	55 +		
73		90	73	66 +		
97		121	97	88 +		
109		136	109	99 +		
121		150	121	110 +		
145		180	145	132 +		
169		200	169			
195		245	195			
242		300	242			

Sebagai petunjuk umum “Westinghouse Electric Corporation” telah mengeluarkan suatu petunjuk untuk pemilihan pengenalan arester. Petunjuk tersebut didasarkan pada metoda pengetanahan dari system tenaga listrik. Hasil-hasil perhitungan diberikan dalam tabel 2.2.

Dalam kolom (1) diberikan standar-standar tegangan yang dikenal oleh “Westinghouse Electric Corporation”, dalam kolom (2) sampai dengan (6) diberikan tegangan maksimum jala-jala. Tipe A adalah sistem-sistem yang

netralnya diketanahkan secara baik, dan hasil bagi  $R_0 / X_1$  dan  $X_0 / X_1$  lebih kecil dibandingkan dengan tipe B. tipe A ini adalah umumnya sistem distribusi yang diketanahkan titik netralnya. Disini pengenal arrester pada umumnya dipilih sedikit lebih rendah dari tegangan jala-jala dari yang biasanya direkomendasikan untuk sistem-sistem tegangan tinggi.

Pada sistem-sistem distribusi tahanan-tahanan biasanya besar dan tidak bisa diabaikan. Faktor ini akan mengurangi kemungkinan rusaknya arrester karena tegangan sistem, dengan demikian memungkinkan penggunaan arrester dengan pengenal tegangan yang lebih rendah.

Tipe B adalah sistem dengan  $X_0 / X_1$  lebih kecil dari 3 dan  $R_0 / X_1$  lebih rendah dari 1 pada setiap titik dalam sistem itu, jadi tipe B ini adalah sistem dengan pengetanahan yang efektif. Untuk tipe B ini cukup menggunakan arrester 80 %.

Tipe C adalah sistem yang netralnya diketanahkan tetapi tidak memenuhi persyaratan untuk tipe B, jadi ada kemungkinan  $X_0 / X_1$  lebih besar dari 3 atau  $R_0 / X_1$  lebih besar dari 1 atau kedua-duanya. Sistem yang diketanahkan dengan kumparan Petersen termasuk dalam tipe C ini.

Tipe D adalah sistem yang tidak diketanahkan, dimana reaktansi urutan nol bersifat kapasitif. Harga  $X_0 / X_1$  terletak antara  $-10$  dan  $-\infty$  (tak terhingga). Tipe E adalah sistem yang tidak diketanahkan tetapi tidak memenuhi kondisi tipe D. harga  $X_0 / X_1$  terletak antar  $0$  dan  $-40$ . Dalam batas-batas ini resonansi sebagian mungkin terjadi.

### **2.3.4 Pengenal Arester**

Pada umumnya pengenal atau “rating” arrester hanya pengenal tegangan, beberapa tabung pelindung atau arrester jenis ekspulsi perlu juga disebut pengenal arusnya yang menentukan kapasitas thermal arrester tersebut.

Supaya pemakaian arrester lebih ekonomis dan efektif, perlu diketahui 4 macam karakteristiknya :

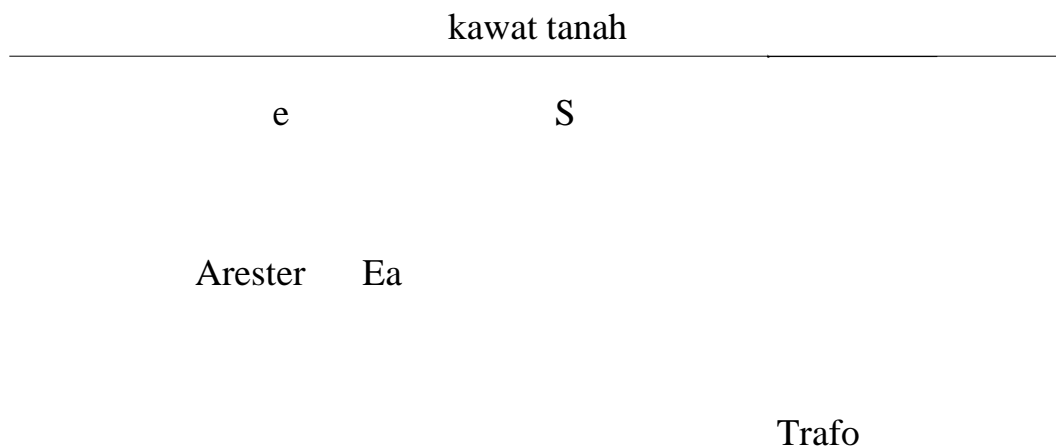
1. Pengenal tegangan : ini paling sedikit sama dengan tegangan maksimum yang mungkin timbul selama terjadi gangguan.
2. Karakteristik perlindungan atau karakteristik impuls : ini adalah untuk koordinasi yang baik antara arester dan peralatan yang dilindungi.
3. Kemampuan pemutus arus frekuensi dasar.
4. Kemampuan menahan atau melewatkan arus surja.

### **2.3.5 Jarak Maksimum Arrester Dengan Peralatan**

Untuk melindungi peralatan terhadap tegangan lebih surja digunakan arrester. Arrester modern dapat membatasi harga tegangan surja dibawah tingkat isolasi peralatan. Peralatan dapat dilindungi dengan menempatkan arrester sedekat mungkin pada peralatan tersebut dan tidak perlu menggunakan alat pelindung pada tiap bagian peralatan yang dilindungi. Walaupun pengaruh gelombang berjalan akan menimbulkan tegangan yang lebih tinggi ditempat yang agak jauh dari arrester, peralatan masih dapat dilindungi dengan baik bila jarak arrester dan peralatan masih dalam batas yang diizinkan.

Untuk menentukan jarak maksimum yang diizinkan antara arrester dan peralatan yang dilindungi dikenal beberapa metoda. Salah satu metoda metoda

ialah metoda pemantulan berulang, metoda ini adalah metoda pendekatan yang dapat digunakan untuk menentukan jarak maksimum arrester dan peralatan, dan juga untuk menentukan panjang maksimum dari kabel penghubung peralatan dengan saluran transmisi (gambar 2.9).



Gambar 2.9 Transformator dan Arester terpisah sejauh S

Perlindungan yang baik diperoleh bila arrester ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan transformator. Tetapi dalam praktek sering arrester itu harus ditempatkan sejauh S dari transformator yang dilindungi. Karena itu, jarak tersebut harus ditentukan agar perlindungan dapat berlangsung dengan baik.

Misalnya:

$E_a$  = Tegangan percik arrester (arrester spark over voltage)

$E_p$  = Tegangan pada jepitan transformator

$A$  =  $de/dt$  = kecuraman gelombang datang, dan dianggap konstan

$S$  = Jarak antara arrester dan transformator

$v$  = kecepatan merambat gelombang

$e$  = Gelombang surja

Untuk keperluan analisa ini, transformator dianggap sebagai jepitan terbuka, yaitu keadaan yang paling berbahaya. Apabila gelombang mencapai transformator, terjadi pantulan total, dan gelombang ini kembali ke kawat dengan polaritas yang sama. Waktu yang dibutuhkan oleh gelombang untuk merambat kembali ke arester =  $2 S/v$ . Bila arrester mulai memercik (sparkover) tegangan jepitan arrester :

$$\begin{aligned} E_a &= A t + A ( t - 2 S/v ) \\ &= A t - 2 A S/v \dots\dots\dots (2.6) \end{aligned}$$

Bila waktu percik arrester  $t_{s0}$  dihitung mulai gelombang itu pertama kali sampai ke arrester, maka dari persamaan (2.1)

$$\begin{aligned} t_{s0} &= \frac{E_a + 2 A S/v}{2 A} \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

Setelah arestere itu memercik ia berlaku sebagai jepitan hubung singkat, dan menghasilkan gelombang asbesar :

$$-A ( t - t_{s0} ) \dots\dots\dots (2.8)$$

Gelombang negatif ini yang merambat ke transformator, dan setelah pantulan pada transformator terjadi, jumlah tegangan pada transformator menjadi :

$$\begin{aligned} E_p &= 2 A t - 2 A ( t - t_{s0} ) = 2 A t_{s0} \\ &= 2 A \frac{E_a + 2 A S/v}{2 A} \dots\dots\dots (2.9) \end{aligned}$$

Atau

$$E_p = E_a + 2 A S/v \dots\dots\dots (2.10)$$

Harga maksimum  $E_p = 2 E_a$

Bila tegangan tembus isolator trafo =  $E_p(f_0)$  harus lebih besar dari  $(E_a + 2A S/v)$  agar diperoleh perlindungan yang baik. Untuk mengubah harga  $E_p$  cukup dengan mengubah  $S$ , yaitu makin kecil  $S$  maka semakin kecil pula  $E_p$ .

## 2.4 Kuantitas Perunit

Saluran transmisi dioperasikan pada tingkat tegangan dimana kilovolt merupakan unit yang sangat memudahkan untuk meyalakan tegangan. Karena besarnya daya yang harus disalurkan, kilowatt, atau megawatt dan kilovolt-ampere atau megavolt-ampere adalah istilah-istilah yang sudah dipakai. Tetapi kuantitas-kuantitas diatas tersebut bersama-sama dengan ampere dan ohm sering juga dinyatakan sebagai suatu persentase atau per-unit dari suatu nilai dasar atau referensi yang ditentukan untuk masing-masing. Defenisi nilai per-unit untuk suatu kuantitas adalah perbandingan kuantitas tersebut terhadap nilai-nilai dasarnya yang dinyatakan dalam desimal. Perbandingan (ratio) dalam persentase adalah 100 kali nilai dalam per-unit. Metode per-unit mempunyai sedikit kelebihan dari metode persentase, karena hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam per-unit sudah langsung diperoleh dalam per-unit juga, sedangkan hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam persentase masih harus dibagi dengan 100 untuk mendapatkan hasil dalam persentase.

Tegangan, arus, kilovolt ampere dan impedansi mempunyai hubungan sedemikian rupa sehingga pemilihan nilai dasar untuk dua saja dari kuantitas-kuantitas tersebut sudah dengan sendirinya menentukan nilai dasar untuk kedua kuantitas yang lainnya. Jika nilai dasar dari arus tegangan sudah dipilih, maka nilai dasar dari impedansi dan kilovolt ampere dapat ditentukan. Impedansi dasar

adalah impedansi yang akan menimbulkan jatuh tegangan (voltage drop) padanya sendiri sebesar tegangan dasar jika arus yang mengalirinya sama dengan arus dasar. Kilovolt ampere dasar pada sistem fasa tunggal adalah hasil perkalian dari tegangan dasar dalam kilovolt adalah kuantitas yang dipilih untuk menentukan dasar atau referensi. Jadi untuk fasa tunggal atau sistem tiga fasa dimana istilah arus berarti arus saluran, istilah tegangan berarti tegangan kenetral, dan istilah kilovolt ampere berarti kilovolt ampere per fasa, berlaku rumus-rumus berikut ini, untuk hubungan bermacam-macam kuantitas :

$$\text{Arus dasar (A)} = \frac{\text{dasar } kVA_{1\phi}}{\text{tegangan dasar, } kV_{LN}} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{\text{tegangan dasar, } V_{LN}}{\text{arus dasar, } A} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LN})^2 \times 1000}{\text{dasar } kVA_{1\phi}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar, } kV_{LN})^2}{\text{dasar } MVA_{1\phi}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\text{Daya dasar, } kW_{1\phi} = \text{dasar } kVA_{1\phi} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\text{Daya dasar, } MW_{1\phi} = \text{dasar } MVA_{1\phi} \dots\dots\dots (2.16)$$

impedansi per-unit dari suatu elemen rangkaian:

$$= \frac{\text{impedansi sebenarnya, } (\Omega)}{\text{impedansi dasar, } (\Omega)} \dots\dots\dots (2.17)$$

#### 2.4.1 Mengubah Dasar Kuantitasa Per-Unit

Kadang-kadang impedansi per-unit untuk suatu komponen dari suatu sistem dinyatakan menurut dasar yang berbeda dengan dasar yang dipilih untuk bagian dari sistem dimana komponen tersebut berada. Karena semua impedansi dalam bagian manapun dari suatu sistem harus dinyatakan dengan dasar

impedansi yang sama, maka dalam perhitungannya kita perlu mempunyai cara untuk dapat mengubah impedansi per-unit dari suatu dasar ke dasar yang lain.

Impedansi per-unit dari suatu elemen rangkaian :

$$\frac{(\text{impedansi sebenarnya}, \Omega) \times (\text{kVa dasar})}{(\text{tegangan dasar}, \text{kV})^2} \dots\dots\dots (2.18)$$

Rumus diatas memperlihatkan bahwa impedansi per-unit berbanding lurus dengan kilovolt ampere dasar yang berbanding terbalik dengan kuadrat tegangan dasar. Karena itu, untuk mengubah impedansi per-unit menurut suatu dasar yang diberikan menjadi impedansi per-unit menurut suatu dasar yang baru, dapat dipakai persamaan berikut :

$$Z_{\text{baru per-unit}} = Z_{\text{diberikan per-unit}} \frac{kV_{\text{diberikan dasar}}}{kV_{\text{baru dasar}}} \dots\dots\dots (2.19)$$

**2.5 Mekanisme Terjadinya Petir**

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan atau pengumpulan muatan diawan begitu banyak dan tak pasti. Tekanan atmosfer akan menentukan dengan makin bertambahnya ketinggian suatu tempat dari permukaan horizontal. Pergerakan udara (sering disebut angin) ini akan membawa udara lembab keatas, kemudian udara lembab ini mengalami kondensasi menjadi uap air, lalu berkumpul menjadi titik-titik air yang pada akhirnya membentuk awan.

Angin kencang yang meniup awan akan membuat awan mengalami pergeseran secara horizontal maupun vertikal. Ditambah dengan benturan antara titik-titik air yang dalam awan tersebut dengan partikel-partikel udara, yang dapat memungkinkan terjadinya pemisahan muatan listrik dalam awan tersebut. Butiran air yang bermuatan positif, biasanya berada di bagian atas dan yang bermuatan negatif dibagian bawah. Dengan adanya awan yang bermuatan maka akan timbul

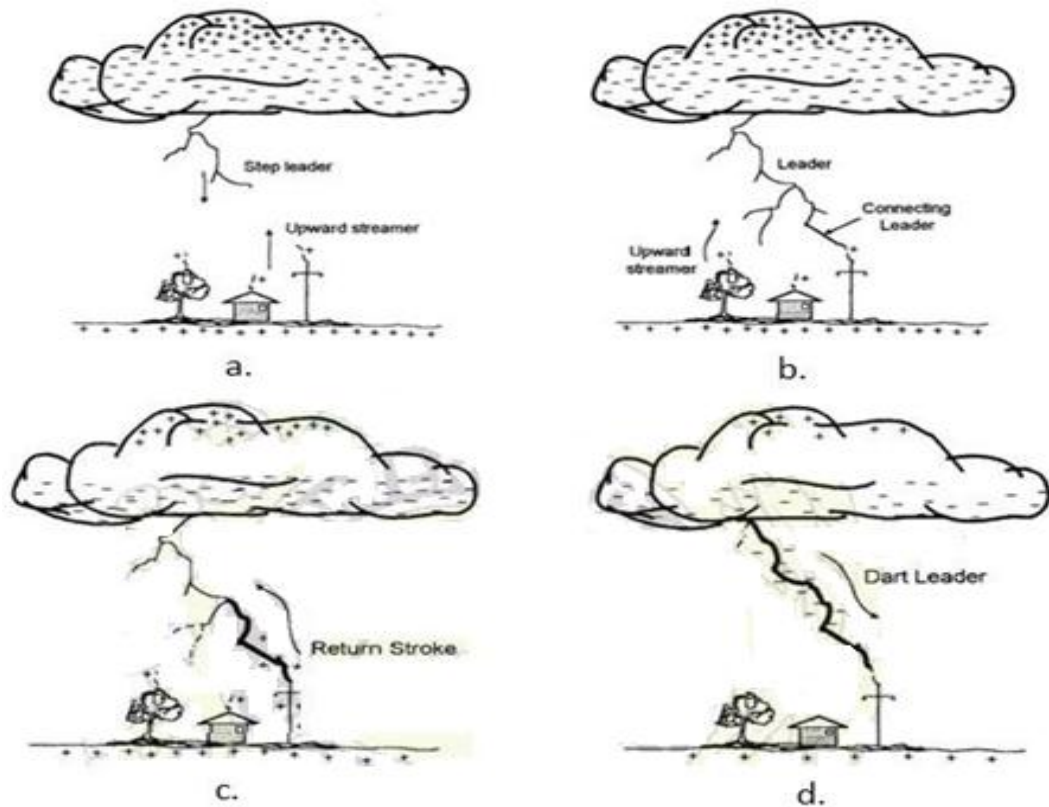


muatan induksi pada permukaan bumi sehingga menimbulkan medan listrik antara bumi dengan awan.

Mengingat dimensinya, bumi dianggap rata terhadap awan sehingga bumi dengan awan dapat dianggap sebagai dua plat sejajar membentuk kapasitor. Jika medan listrik yang terjadi melebihi medan tembus udara, maka akan terjadi pelepasan. Terjadinya pelepasan udara inilah yang disebut sebagai petir.

Setelah adanya peluahan diudara sekitar awan bermuatan yang medan listriknya cukup tinggi, terbentuk peluahan awal yang biasa disebut *pilot leader*. *Pilot leader* ini menentukan arah perambatan muatan dari awan keudara, diikuti dengan titik-titik cahaya.

Setiap sambaran petir bermula dari suatu lidah petir (*leader*) yang bergerak turun dari awan bermuatan dan disebut *downward leader* (lihat gambar 2.10.a). *downward leader* ini bergerak menuju bumi dalam bentuk langkah-langkah yang disebut *step leader*. Pergerakan *step leader* ini arahnya selalu berubah-ubah sehingga secara keseluruhan jalannya tidak ada yang patah-patah. Panjang setiap *step leader* ini sekitar 50 m (dalam rentang 3-200 m), dan interval waktu antara setiap step +  $\mu\text{s}$  (30-125  $\mu\text{s}$ ). Dari waktu ke waktu, dalam perambatannya ini *step leader* mengalami percabangan sehingga terbentuk lidah petir yang bercabang-cabang.



Gambar 2.10 tahapan proses sambaran petir

Ketika *leader* bergerak mendekati bumi, akan ada beda potensial yang makin tinggi antara ujung *step leader* dengan bumi sehingga terbentuk peluahan mula yang disebut *upward streamer* pada permukaan bumi atau objek akan bergerak ke atas menuju ujung *step leader*. Apabila *upward leader* telah masuk dalam zona jarak sambaran atau *striking distance*, terbentuk petir penghubung (*connecting leader*) yang menghubungkan ujung *step leader* dengan objek yang disambar (Gambar 2.10b). Setelah itu akan timbul sambaran balik (*return stroke*) yang bercahaya sangat terang bergerak dari bumi atau objek menuju awan dan melepas muatan diawan (Gambar 2.10c).

Jalan yang ditempuh oleh *return stroke* sama dengan jalan turunnya *step leader*, hanya arahnya yang berbeda. Kemudian terjadi sambaran susulan

(*subsequent stroke*) dari awan menuju bumi atau objek tersebut. Sambaran susulan ini tidak memiliki percabangan dan biasa disebut sebagai lidah panah atau *dart leader* (Gambar 2.10.d). Pergerakan *dart leader* ini sekitar 10 kali lebih cepat dari *leader* yang pertama (sambaran pertama atau *first stroke*). Pada umumnya, hampir separuh (+ 55%) dari peristiwa kilat petir (*lightning flash*) merupakan sambaran ganda seperti tersebut diatas, dengan jumlah sambaran sekitar 3 atau 4 sambaran tiap kilat (bisa juga lebih), diantaranya 90 % tidak lebih dari 8 sambaran, interval waktu setiap sambaran kurang dari 50 ms.

## 2.6 Macam-macam petir

Telah disebutkan sebelumnya bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan dan pengumpulan muatan di awan begitu banyak dan tak pasti. Ditambah dengan kondisi labilitas dalam atmosfer, sehingga proses terjadinya sambaran petir bisa juga berbeda-beda. Misalnya, muatan yang terjadi tidak terpisah secara horizontal sehinggamenimbulkan pelepasan diantara awan dengan muatannya terjadi secara sebaliknya, sehingga arah peluahan atau petirnya juga terbalik. Secara garis besar, jenis-jenis petir dapat dikategorikan dalam beberapa macam, yaitu sebagai berikut :

Berdasarkan polaritas muatan :

- a. Muatan positif
- b. Muatan negatif

Berdasarkan arah sambaran :

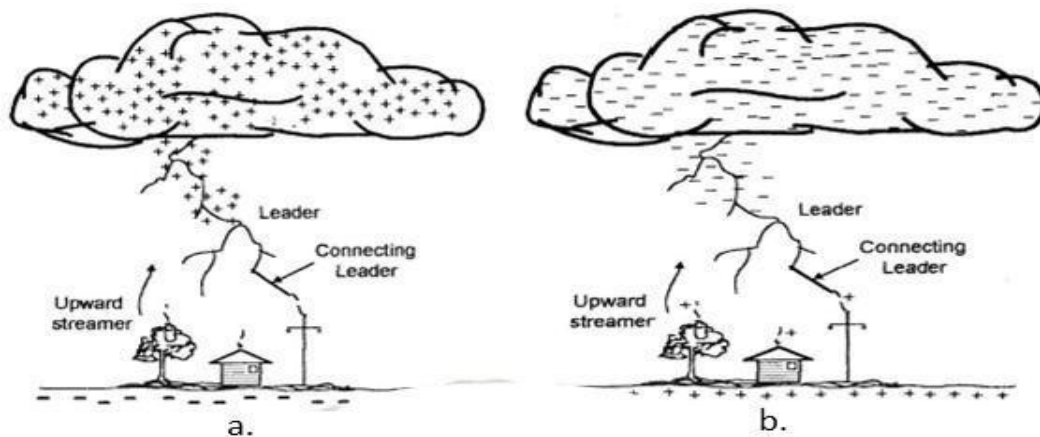
- a. Arah kebawah (bumi atau objek), disebut *downward lightning*
- b. Arah keatas (awan), disebut *upward lightning*

Berdasarkan jenis sambaran :

- a. Sambaran dalam awan (*intra cloud lightning*)
- b. Sambaran antar awan (*inter cloud lightning*)
- c. Sambaran awan ke bumi (*cloud to ground lightning*)

### 2.6.1 Berdasarkan polaritas muatan

Polaritas petir, baik itu positif maupun negatif ditentukan oleh muatannya. Petir dikatakan bermuatan positif jika *pilot leader* yang membentuk *step leader* bermula dari awan bermuatan negatif maka petirnya dikatakan bermuatan negatif (Gambar 2.11.b).



Gambar 2.11 Polaritas muatan petir pada sambaran ketanah

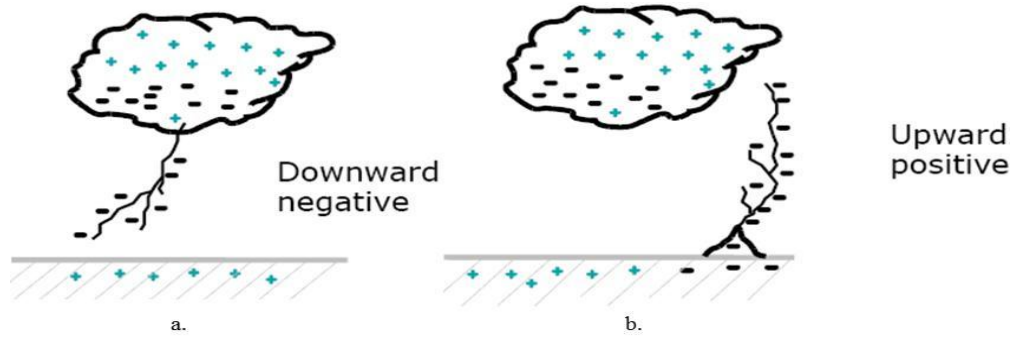
Polaritas petir tidak selalu berpengaruh menentukan arah perambatan petir. Polaritas petir paling berpengaruh pada daya rusak yang dihasilkannya, dalam hubungannya dengan besaran arus petir dan bentuk gelombangnya. Sebab pada umumnya, besaran arus pada petir dengan polaritas positif lebih besar dibandingkan pada petir polaritas negatif. Selain itu, bentuk gelombang arus petir

dengan polaritas negatif, berbeda-beda antara sambaran pertama (*first stroke*) dengan sambaran susulannya (*subsequent stroke*).

Selain perbedaan dalam hal karakteristik besaran arus dan bentuk gelombangnya, petir polaritas positif dan polaritas negatif juga berbeda dalam persentase kemungkinan kejadiannya. Hanya sekitar 10% dari sambaran petir yang terjadi berpolaritas positif, selebihnya adalah petir negatif. Probabilitas kejadian petir positif akan meningkat dengan bertambahnya ketinggian suatu tempat atau objek di bumi. Lebih jauh lagi, *R.B. Anderson* menyatakan bahwa mayoritas petir positif “lebih sering atau menyukai *single stroke*”, sehingga untuk tujuan dan penelitian petir positif sering dinyatakan (diasumsikan) sebagai sambaran tunggal.

### **2.6.2 Berdasarkan arah sambaran**

Jika melihat kembali ke mekanisme terjadinya petir, maka akan terlihat bahwa untuk setiap satu kejadian kilat petir dengan beberapa sambaran, mengalami arah peluahan kebawah (bumi) dan keatas (awan) sekaligus secara bergantian. Maka untuk mendefinisikan arah sambaran ini, sebagai acuan adalah arah mula terjadinya peluahan petir (asal *pilot leader*). Apabila *pilot leader* bermula dari atas (awan), maka disebut petir kebawah atau disebut juga *downward lightning*, dan jika sebaliknya maka disebut keatas atau *upward lightning*.



Gambar 2.12 Tipikal arah sambaran petir

(a) *Downward lightning* (b) *Upward lightning*

Perbedaan antara *upward lightning* dengan *downward lightning*, selain dari arah sambarannya adalah pada probabilitas kejadian dan tipikal sambarannya. *Upward lightning* memiliki sambaran yang cabang-cabangnya cenderung sedikit, kebalikan dari *downward lightning* yang percabangan sambarannya cenderung banyak. Selain itu *upward lightning* sangat jarang terjadi, sehingga kasus ini dianggap sebagai kasus khusus. Dari beberapa referensi yang ada belum ada satupun yang memberikan angka perkiraan mengenai probabilitas kejadian *upward lightning* di dunia.

*Upward lightning* hanya terjadi pada objek yang memiliki ketinggian cukup lumayan. Hasil obserbasi menunjukkan bahwa dari peristiwa-peristiwa *upward lightning*, sekitar 80 – 90 % terjadi pada objek dengan ketinggian 400 – 500 m dari permukaan bumi.

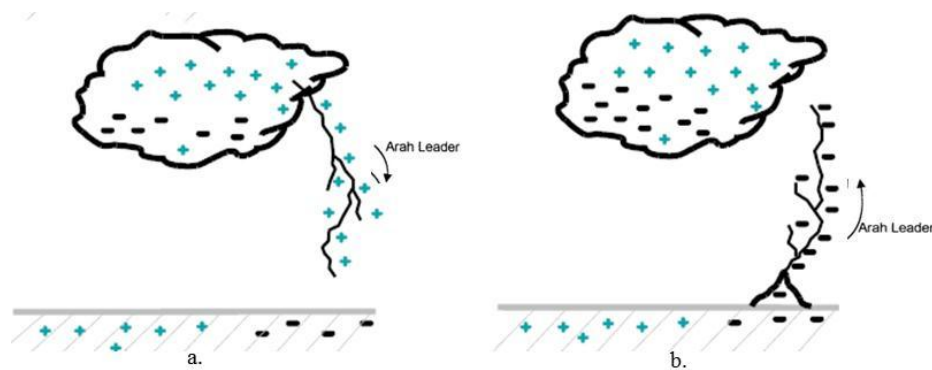
### 2.6.3 Berdasarkan jenis sambaran

Kondisi pada saat pemisahan muatan merupakan faktor penentu dari proses kejadian petir berdasarkan jenis sambaran ini. Sambaran petir ke tanah (*cloud to ground lightning*) merupakan bentuk sambaran petir yang paling

merusak dan bercahaya. Oleh karena itu, meskipun sambaran petir jenis ini bukan merupakan yang paling umum terjadi, namun paling penting untuk diteliti dan dikaji karakteristiknya dalam rangka melindungi diri dan lingkungan kita dari sambaran petir ini.

Sambaran petir dalam awan (*intra cloud lightning*) adalah jenis yang paling sering terjadi. Petir jenis ini terjadi antara muatan yang berlawanan dalam satu awan yang sama. Prosesnya terjadi diawan dan terlihat dari luar awan seperti kejapan cahaya terang yang menyambar. Akan tetapi, kilatan cahayanya juga bias keluar dari batas-batas awan itu sendiri, dan membentuk kanal cahaya serupa dengan sambaran ke tanah.

Perbandingan *antara cloud to ground* dengan *intra cloud lightning* dapat bervariasi secara signifikan antara satu badai dengan badai yang lainnya. Beberapa anggapan (usulan) menyatakan bahwa variasi ini mempunyai ketergantungan atau korelasi terhadap latitude, dengan persentase kejadian lebih besar untuk kejadian *cloud to ground* pada latitude yang lebih tinggi. Sedangkan sambaran petir antar awan (*inter cloud lightning*) adalah petir yang terjadi diantara pusat muatan yang berlawanan pada dua awan berbeda.



Gambar 2.13 Jenis-jenis sambaran petir

- a. Dalam awan (*intra cloud*)
- b. Antar awan (*inter cloud*)

## **2.7. Faktor-faktor penyebab gangguan dan akibatnya pada saluran transmisi**

Dalam sistem tenaga listrik, bagian yang paling sering terkena gangguan adalah kawat transmisinya, (kira-kira 70% s/d 80% dari seluruh gangguan ). Hal ini disebabkan luas panjangnya kawat transmisi yang terbentang dan yang beroperasi pada kondisi udara yang berbeda-beda. Pada sistem transmisi, suatu gangguan dapat terjadi disebabkan kesalahan mekanis, thermis dan tegangan lebih atau karena material yang cacat atau rusak, misalnya gangguan hubung singkat, gangguan ketanah atau konduktor yang putus. Gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat. Besar dari arus hubung singkat itu tergantung dari jenis dan sifat gangguan hubung singkat itu, kapasitas dari sumber daya, konfigurasi dari sistem, metoda hubungan netral pada trafo, jarak gangguan dari unit pembangkit, angka pengenal dari peralatan utama dan alat-alat pembatas arus, lamanya hubung singkat itu dan kecepatan beraksi dari alat-alat pengaman.

Gangguan hubung singkat itu tidak hanya dapat merusak peralatan atau elemen-elemen sirkuit, tetapi juga dapat menyebabkan jatuhnya tegangan dan frekuensi sistem, sehingga kerja paralel dari unit-unit pembangkit menjadi terganggu pula.

Akibat-akibat yang disebabkan gangguan antara lain :

1. Menginterupsi kontinuitas pelayanan daya kepada para konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian (sirkuit) atau menyebabkan keluarnya suatu unit pembangkit.



2. Penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik yang merintanginya kerja normal pada peralatan konsumen
3. Pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan jatuhnya tegangan
4. Merusak peralatan pada daerah terjadinya gangguan itu.

Faktor-faktor yang dapat 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 penyebab utamanya adalah surja petir.

2. Burung atau daun-daun

Jika burung atau daun-daun terbang dekat pada isolator gantung dari saluran transmisi, maka clearance (jarak aman) menjadi berkurang sehingga ada kemungkinan terjadi loncatan api.

3. Polusi (debu)

Debu-debu yang menempel pada isolator merupakan konduktor yang bias menyebabkan terjadinya loncatan api.

4. Retak-retak pada isolator

Dengan adanya retak-retak pada isolator maka secara mekanis apabila ada petir yang menyambar akan menjadi tembus pada isolator.

Klasifikasi dari gangguan dibedakan atas dua bagian yaitu :

1. Dari macam gangguan

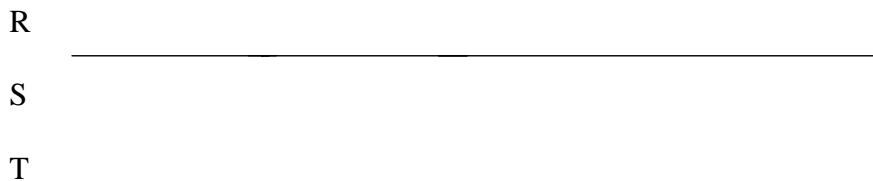
- Gangguan dua fasa atau tiga fasa melalui tahap hubung tanah
- Gangguan fasa ke fasa

- Gangguan dua fasa ketanah
  - Gangguan satu fasa ketanah atau gangguan tanah
2. Dari lamanya waktu gangguan
- Gangguan permanen
  - Gangguan temporer

Namun didalam penulisan Tugas ini, saya hanya akan membahas gangguan hubung singkat satu fasa ketanah yang disebabkan oleh ssambaran petir.

### **2.7.1 Gangguan Satu Fasa Ke Tanah (Gangguan Tanah)**

Diagram rangkaian untuk suatu gangguan tunggal dari saluran ketanah pada suatu generator terhubung Y yang tidak dibebani dengan netralnya ditanahkan melalui suatu reaktansi diperlihatkan pada gambar 2.13 dimana fasa adalah tempat terjadinya gangguan. Persamaan-persamaan yang akan dikembangkan untuk jenis gangguan ini akan berlalu hanya bila gangguannya adalah fasa a, akan tetapi hal ini tidak begitu menimbulkan kesulitan karena fasa-fasa tersebut telah dinamakan dengan sembarang saja dan setiap fasa dapat disebut sebagai fasa a. keadan pada gangguan dinyatakan engan persamaan-persamaan berikut ini.



Gambar 2.14 gangguan kawat – tanah

Persamaan keadaan :

$$I_b = 0 \dots\dots\dots (2.20)$$

$$I_e = 0 \dots\dots\dots (2.21)$$

$$V_a = I_a Z_f \dots\dots\dots (2.22)$$

Dari persamaan (2.20) dan (2.21) diperoleh :

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dari persamaan (2.22) :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = (I_{a1} + I_{a2} + I_{a0})Z_f = 3 I_{a1} Z_f \dots\dots\dots (2.24)$$

$$(V_{a1} - I_{a1}Z_f) + (V_{a2} - I_{a2}Z_f) + (V_{a0} - I_{a0}Z_f) = 0 \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana :

$V_a, V_b, V_c$  = Tegangan-tegangan terhadap tanah

$I_a, I_b, I_c$  = Arus-arus yang mengalir menuju gangguan dari fasa a, b, c,  
karena gangguan, bukan arus jala-jala

$Z_f$  = Impedansi Gangguan

$$V_{a1} = -V_{a2} - V_{a0} + 3 I_{a1} Z_f$$

$$V_f = I_{a1} Z_1 = I_{a1} Z_2 + I_{a1} Z_0 + 3 I_{a1} Z_f$$

$$V_f = I_{a1} (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f)$$

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

$$V_{a1} = \frac{Z_2 + Z_0 + 3Z_f}{Z_t} V_f \dots\dots\dots (2.26)$$

$$V_{a2} = -\frac{Z_2}{Z_t} V_t \dots\dots\dots (2.27)$$

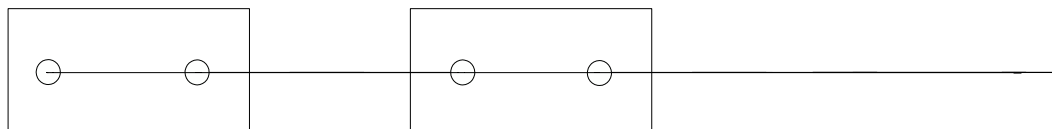
$$V_{a0} = -\frac{Z_0}{Z_t} V_t \dots\dots\dots (2.28)$$

Jadi besar arus gangguan :

$$I_f = 3 I_{a1} = 3 \frac{V_f}{Z_t} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :  $Z_t = Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f$  ..... (2.30)

Gambar jala-jala urutannya dapat kita lihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 jala-jala urutan gangguan kawat tanah

## 2.7.2 Gangguan Sambaran Petir Pada Saluran Transmisi Udara

Petir atau halilintar merupakan gejala alam yang biasanya muncul pada musim hujan dimana dilangit muncul kilatan cahaya sesaat yang menyilaukan

yang beberapa saat kemudian disusul dengan suara menggelegar. Antara kecepatan suara dan kecepatan cahaya.

Petir terjadi karena ada perbedaan potensial antara awan dan bumi. Proses terjadinya muatan pada awan karena dia bergerak secara terus menerus secara teratur, dan selama pergerakannya dia akan berinteraksi dengan awan lainnya sehingga muatan negatif akan muncul pada salah satu sisi (atas atau bawah), sedangkan muatan positif akan berkumpul pada sisi sebaliknya. Jika perbedaan potensial antara awan dan bumi cukup besar, maka akan terjadi pembuangan muatan negatif (electron) dari awan kebumi atau sebaliknya untuk mencapai kesetimbangan

Jika kawat tersambar petir maka akan ada dua kemungkinan pada isolasi yaitu: kegagalan isolasi (flasover) dan berhasil (non flashover). Peristiwa dari kejadian ini dapat dianalisis dari teorema statistik binomial. Bila probabilitas berhasil adalah **p** dan probabilitas kegagalan adalah **q**, maka :

$$P_k = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k q^{n-k} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana :

- P : probabilitas keberhasilan sebanyak k kali dengan kegagalan n-k kali
- n : jumlah kejadian
- k : jumlah keberhasilan
- n – k : jumlah kegagalan
- p : peluang keberhasilan
- q : peluang kegagalan

Tabel 2.3 Probabilitas keberhasilan sambaran petir

Berhasil K	Gagal n-k	Probabilitas Pk
100	0	0,336
99	1	0,369
98	2	0,185
97	3	0,061
96	4	0,015

### 2.7.3 Jumlah Sambaran Petir

Secara sederhana, jumlah sambaran kilat kebumi adalah sebanding dengan jumlah hari guruh pertahun atau “ Iso Keraunic Level” (IKL) di tempat itu banyak penyelidik yang telah memberikan perhatian kearah ini dan mengemukakan rumus-rumus yang berlainan. Rumus-rumus diberikan dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2.4 Rumus-rumus kecepatan sambaran petir

NO	Lokasi	Kerapatan sambaran petir N (per km. kwadrat per tahun)	Penyelidik
1	India	0,10 IKL	Aiya (1968)
2	Rhodeisa	0,14 IKL	Anderson dan jenner (1954)
3	Afrika selatan	0,023 IKL	Anderson – Erikson (1954)
4	Swedia	0,004 IKL	Muller –hilebrend (1964)
5	Inggris	a(IKL) $a = 2,6 \pm 0,2 \times 10^{-3}$ $b = 1,9 \pm 0,1$	Stringfellow (1974)
6	USA (bag utara)	0,11 IKL	Horn - ramsey (1951)
7	USA (bag selatan)	0,17 IKL	Horn - ramsey (1951)
8	USA	0,1 IKL	Anderson (1968)

9	USA	0,15 IKL	Brown - Whitehead (1969)
10	Rusia	0,036 IKL	Kolokolov - Pavloa (1972)
11	Dunia (ikilm sedang)	0,19 IKL	Brooks (1950)
12	Dunia (ikilm sedang)	0,15 IKL	Golde (1966)
13	Dunia (iklim tropis)	0,13 IKL	Brooks (1950)

Untuk Indonesia maka yang sebaiknya digunakan adalah :

$$N = 0,15IKL$$

Dimana :

$N$  = jumlah sambaran per  $km^2$  per tahun

$IKL$  = jumlah hari guruh pertahun

Jadi jumlah sambaran pada saluran transmisi sepanjang 100 km adalah :

$$N_L = N \times A \dots\dots\dots (2.32)$$

Atau

$$N_L = 0,0015 IKL (b + 4 h^{1,09}) \text{ sambaran per } 100 \text{ km per tahun } \dots (2.33)$$

#### **2.7.4 Penangkapan Petir Oleh Saluran Tansmisi**

Kawat transmisi terletak diatas permukaan bumi yang juga dapat disebut sebagai perlindungan dari sambaran petir pada bumi. Sebagai kita kenal bahwa sambaran pettir akan berakhir bila mencapai bumi. Adanya suatu kawat tanah akan melindungi daerah tertentu, karena sambaran petir sebelum mencapai kebumi, lebih dahulu akan menyambar kawat tanah

Kawat tanah disangga pada menara-menara, sehingga kawat ini akan melendut di tengah-tengah dua menara. Tinggi rata-rata kawat tanah adalah :

$$h = h_g - \left(\frac{2}{3}\right) (h_g - h_i) \dots \dots \dots (2.34)$$

dimana :  $h$  : tinggi rata-rata kawat tanah

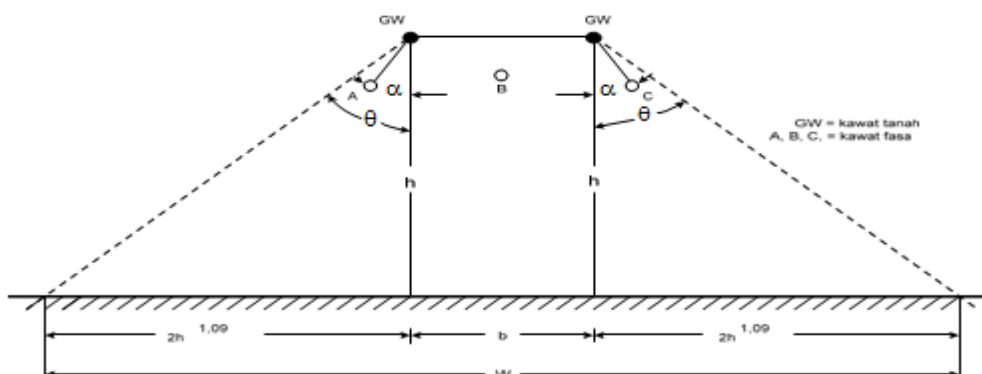
$h_g$  : tinggi kawat tanah paada menara

$h_i$  : tinngi kawat tanah ditengah-tengah dua menara

saluran transmisi diatas tanah dapat dikatakan membentuk bayang-bayang listrik pada tanah yang berada dibawah saluran transmisi itu. Kilat biasanya menyambar tanah dalam bayang-bayang itu akan menyambar saluran transmisi sebagai gantinya, sedangkan kilat diluar bayang-bayang itu sama sekali tidak menyambar saluran. Lebar bayang-bayang listrik untuk suatu salura transmisi telah dapat dilihat pada gambar 2.15

lebar bayang-bayang  $W$ ,

$$W = (b + 4 h^{1,09} ) \text{ meter} \dots \dots \dots (2.35)$$



Gambar 2.16 lebar jalur perisaian terhadap sambaran kilat

Dimana :



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

GW : kawat tanah

A, B, C, : kawat fasa

Sesuai dengan keadaan geometris lintasan saluran transmisi, Whitehead telah membagi lintasan tersebut dalam tiga jenis : datar, bergelombang dan bergunung-gunung. Tinggi rata-rata kawat diatas tanah untuk ketiga jenis lintasan adalah :

- Tanah datar

$$h = h_t - 2/3 \text{ andongan} \dots\dots\dots (2.36)$$

- Tanah bergelombang

$$h = h_t \dots\dots\dots (2.37)$$

- Tanah bergunung-gunung

$$h = 2 h_t \dots\dots\dots (2.38)$$

jadi luas bayang-bayang untuk 100 km panjang saluran transmisi,

$$A = 100 \text{ (km)} \times (b + 4 h^{1,09}) \times 10^{-3} \text{ (km)}$$

Atau

$$A = 0,1 (b + 4 h^{1,09}) \text{ km}^2 \text{ per } 100 \text{ km saluran}$$

**2.8. Jala-jala Urutan Nol**

Bagi arus-arus urutan nol, suatu sistem tiga fasa bekerja seperti fasa tunggal, karena arus-arus urutan nol selalu sama dalam besar dan fasanya disetiap titik pada semua sistem fasa tersebut. Oleh karena itu arus-arus urutan nol hanya akan mengalir jika terdapat suatu jalur kembali yang membentuk suatu rangkaian

lengkap. Pedoman untuk tegangan-tegangan urutan nol ialah potensial tanah pada titik dalam sistem itu dimana setiap tegangan tertentu ditetapkan. Karena arus urutan nol dapat mengalir dalam tanah, tanah tidak harus selalu berpotensi sama pada semua titik rel pedoman pada jala-jala urutan nol tidak merupakan suatu tanah dengan potensial yang seragam.

Rangkaian-rangkaian ekivalen urutan nol untuk transformator-transformator tiga fasa sepantasnya kita berikan perhatian khusus (gambar 2.16) .berbagai macam kombinasi yang mungkin dari suatu gulungan-gulungan primer dan sekunder yang terhubung dalam Y dan  $\Delta$  sudah tentu merubah pula jala-jala urutan nolnya. Berikut gambar0gambar rangkaian ekivalen urutan nol bangku transformator ( transformer bank) tiga fasa, bersama dengan diagram hubung dan lambing-lambangny untuk diagram segaris.

LAMBANG	DIAGRAM - DIAGRAM HUBUNGAN	RANGKAIAN EKIVALEN URUTAN NOL

Gambar 2.17 Rangkaian-rangkaian ekivalen urutan nol banks transformer tiga fasa, bersama dengan hubungan dan lambang-lambangnya untuk diagram segaris

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

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

Adapun lokasi yang digunakan sebagai objek penelitian adalah Gardu Induk Titi Kuning Jl, Bunga Aster No.7 Medan Johor dan dilaksanakan pada tanggal 06 Juni 2016 sampai dengan tanggal 17 Juni 2016.

#### **3.2 Peralatan Penelitian**

Adapun peralatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini :

1. Satu unit Notebook

Merk : Toshiba

Processor : Intel®Pentium® Core I 5 M540 @2.40GHz

Installed memory (RAM) : 4 GB DDR3

System type : 64 bit operating system

Fungsi : untuk mencatat data-data yang diperlukan dalam penelitian dan dalam penulisan tugas akhir

2. Satu unit Plashdrive

Merk : Toshiba

Kapasitas : 8 GB

Fungsi : Untuk memindahkan data-data yang dibutuhkan peneliti

### 3.3 Data Penelitian

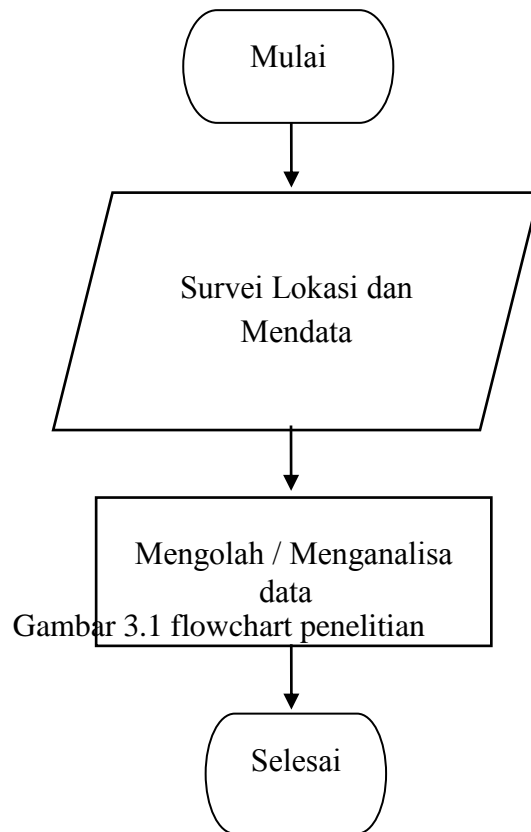
Sebuah sumber tenaga listrik menyalurkan tegangan sebesar 230 KV dengan tingkat isolasi dasar (TID) 900 KV menuju ke konsumen dengan tinggi rata-rata kawat diatas tanah  $h = 14$  m, jarak pemisah antara kawat-kawat adalah 3,65 m, 3,65m, dan  $b = 7,3$ m. panjang rentang isolator = 1,2 m, impedansi surja kawat  $z = 400$  ohm dan  $V_{50\%} = 645$  KV, IKL = 100,. Saluran tersebut dilindungi oleh arrester 195 KV dengan tegangan pelepasan maksimum 610 KV. Sebuah gelombang surja = 300 t KV merambat menuju arrester. Rating peralatan adalah sebagai berikut:

- Generator :30000 kVA : 13,8 kV :  $X_g = 15\%$  :  $X_0 = 5\%$  :  $X_2 = 2$  Ohm
- Motor :20000 kVA :12,5kV:  $X_m = 20\%$  :  $X_0 = 5\%$  :  $X_2 = 2$  Ohm
- Trafo I 3phasa :35000 kVA : 13,8  $\Delta$  -115 Y :  $X = 10\%$
- Trafo II 3phasa :30000 kVA : 12,5  $\Delta$  - 67 kV Y :  $X = 10\%$
- Saluran transmisi :  $X = 80$  Ohm ;  $X_0 = 250$  Ohm

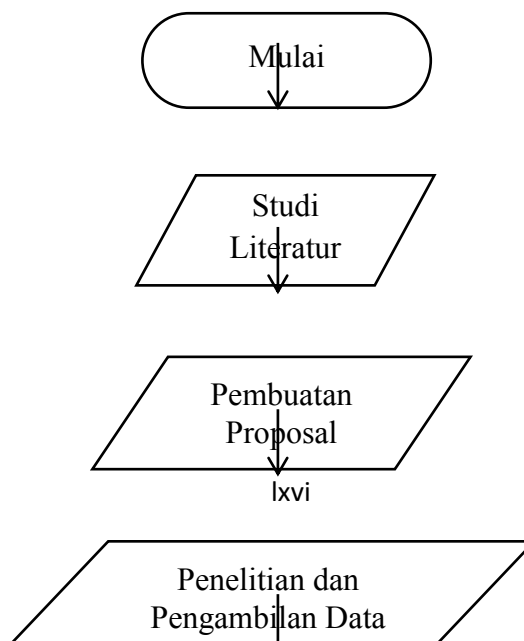
### 3.4 Jalannya Penelitian

Penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari Unit Pembagi Tegangan kota Medan di Gardu induk Titi Kuning seperti ,Generator, Motor, Trafo I 3phasa, Trafo II 3phasa, SaluranTransmisi. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah serta diagram rektansinya.

Prosedur penyusunan kerangka penelitian adalah sebagai berikut:



Prosedur penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut:



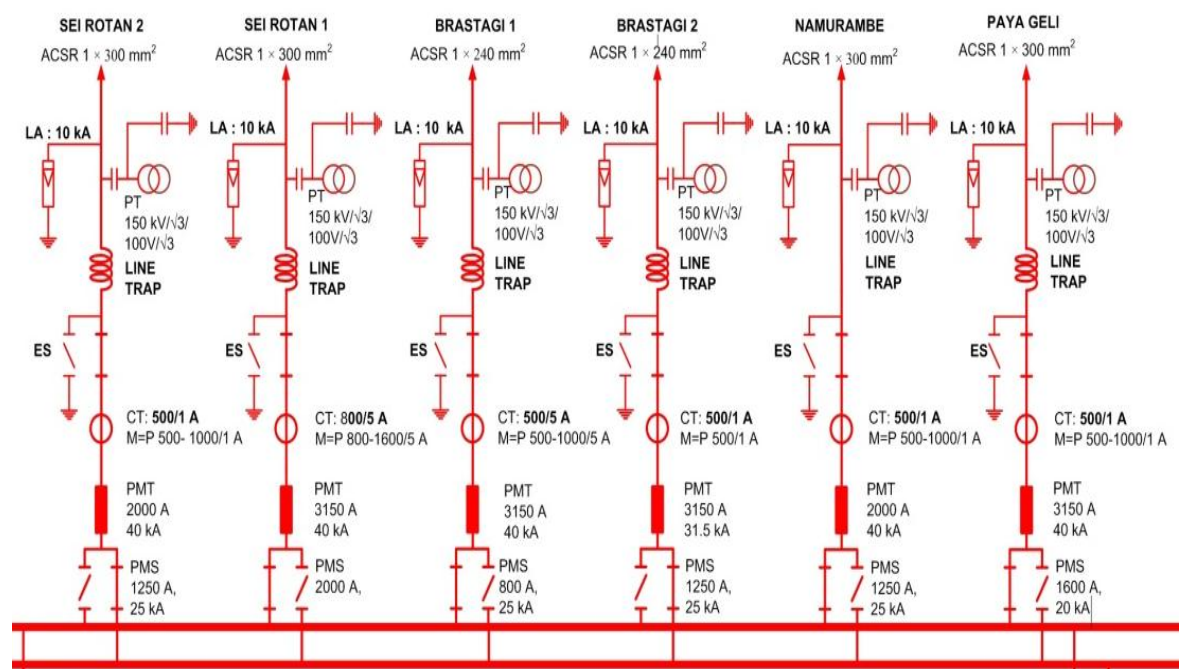
Gambar 3.2 flowchart penyusunan tugas akhir

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Singel Line Gardu Induk Titi Kuning







Model sistem tenaga listrik yang menyangkut masalah stabilitas ini diambil dari *single line* Gardu Induk Titi Kuning. Dimana gardu induk titi kuning melayani 6 buah Fedder diantaranya adalah : Sei Rotan 1, Sei Rotan 2, Namurambe, Paya Geli, Brastagi 2 dan Brastagi . seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 4.1 one line diagram Gardu Induk Titi Kuning



Keterangan gambar :

-  = LA 'Lighting Arrester'
-  = PT 'Primary Trafo'
-  = Line Trap 'Coil'
-  = CT 'Current Trafo'
-  = PMT 'Saklar Pemutus Tenaga'
-  = PMS 'Saklar Pemisah'

## 4.2 perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah

### 1. Base yang di pilih dari generator adalah

- Untuk base tegangan = 13,8 kV
- Untuk base daya = 30000 kVa

### 2. Menghitung base tegangan untuk saluran transmisi dan motor

- Untuk saluran transmisi

$$\text{Base tegangan} \frac{230 \text{ kV}}{13,8 \text{ kV}} \times 13,8 \text{ kV} = 230 \text{ kV}$$

- Untuk motor

$$\text{Base tegangan} \frac{12,5 \text{ kV}}{67\sqrt{3}} \times 230 \text{ kV} = 24,8 \text{ kV}$$

**3. Menghitung reaktansi (X) masing-masing peralatan, reaktansi pada generator**

$$X_g = 0,15x \frac{30kva}{30kva} \left( \frac{13,8kva}{13,8kva} \right)^2 = 0,15pu$$

$$x_0 = 0,05x \frac{30kva}{30kva} \left( \frac{13,8kva}{13,8kva} \right)^2 = 0,05pu$$

$$x_2 = 2x \frac{30000kv}{(13,8kv)^2 \times 10^3} = 0,3pu$$

- Reaktansi pada Motor

$$x_g = 0,3x \frac{30000kva}{20000kva} \left( \frac{12,5kV}{24,8kV} \right)^2 = 0,114pu$$

$$x_0 = 0,05x \frac{30000kva}{20000kva} \left( \frac{12,5kva}{12,5kva} \right)^2 = 0,019pu$$

$$x_2 = 2x \frac{30000kva}{(24,8kV)^2 \times 10^3} = 0,097pu$$

- Reaktansi pada Trafo satu

$$xt_1 = 0,1 \frac{30000kva}{35000kva} \left( \frac{13,8kV}{13,8kV} \right)^2 = 0,08pu$$

- Reaktansi pada Trafo dua

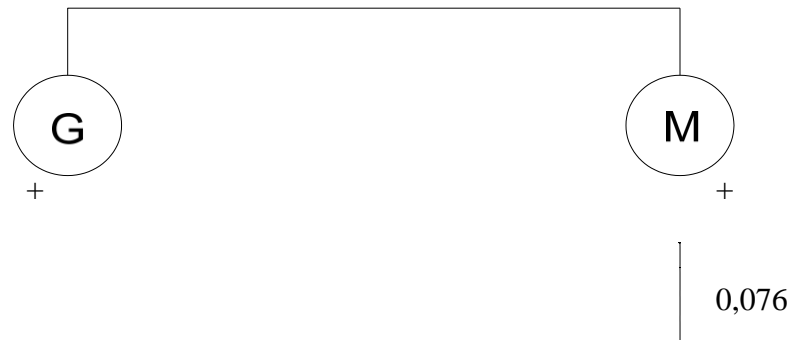
$$xt_2 = 0,1x \frac{30000kva}{30000kva} \left( \frac{12,5kv}{24,8kv} \right)^2 = 0,025pu$$

- Reaktansi pada saluran Transmisi

$$x_{tr} = 80 \times \frac{30000 \text{ kVa}}{(230 \text{ kV})^2 \times 10^3} = 0,14 \text{ pu}$$

#### 4 Gambar diagram Reaktansi

- Urutan positif



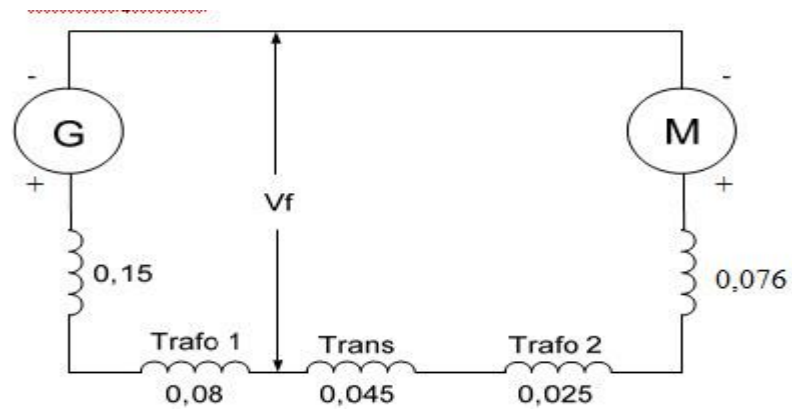
Gambar 4.2 Reaktansi urutan positif

$$z_1 = \frac{(0,15 + 0,08)(0,045 + 0,025 + 0,076)}{(0,15 + 0,18)(0,045 + 0,025 + 0,076)}$$

$$= \frac{0,23 \times 0,146}{0,23 + 0,146}$$

$$= 0,89 \text{ pu}$$

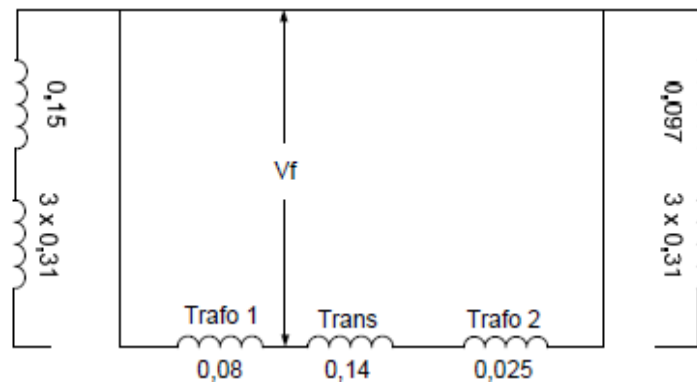
- Urutan negatif



Gambar 4.3 Reaktansi urutan negatif

$$\begin{aligned}
 Z_2 &= \frac{(0,05+0,08)(0,14+0,025+0,019)}{(0,05+0,08)(0,14+0,025+0,019)} \\
 &= \frac{0,13 \times 0,184}{0,13+0,184} \\
 &= 0,076 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

- Urutan nol



Gambar 4.4 Reaktansi urutan nol

$$z_0 = \frac{(0,08) + (0,14 + 0,025)}{(0,08) + (0,14 + 0,025)}$$

$$= \frac{0,08 \times 0,165}{0,08 + 0,165}$$

$$= 0,0538 \text{ pu}$$

Maka besarnya arus gangguan satu fasa ketanah adalah,

dengan nilai :

$$V_f = 1,0 \text{ pu}$$

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2}$$

$$I_{A0} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$= \frac{1,0 \text{ pu}}{0,089 + 0,076 + 0,0583}$$

$$= 4,570 \text{ pu}$$

$$I_f = 3 \times I_{a0}$$

$$= 3 \times 4,570$$

$$= 13,71 \text{ pu}$$

$$\text{Base arus, } \frac{30000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 24,8} = 699,23 \text{ A}$$

Maka besar arus gangguan dalam Ampere adalah sebesar,

$$I = 13,71 \times 699,23$$

$$= 9586,443 \text{ Ampere}$$

$$= 9586,443 \angle 90^\circ \text{ Ampere}$$

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Semakin jauh gangguan dengan sumber atau pada titik gangguan 100% dari panjang saluran 22,7 km maka arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah akan semakin kecil.
2. Besar arus gangguan satu fasa ketanah sebesar 699,23A dan besar arus gangguan sebesar  $9586,443 \angle 90^\circ$  A.

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya perlu dikembangkan lebih lanjut untuk menganalisa arus gangguan hubung singkat satu fasa ketanah menggunakan program atau metode yang lebih baik.



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI  
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN MUHAMMADIYAH  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Telp. (061) 661 1233-6624567-662400-  
6610450-6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238

Lembar Asistensi Tugas Akhir  
NAMA : RAMDHAN KARO-KARO  
NPM : 1207220004  
JUDUL :  
STUDI ANALISA GANGGUAN HUBUNGAN SINGKAT SATU  
FASA KETANAH AKIBAT SAMBARAN PETIR PADA SALURAN  
TRANSMISI 150 KV PADA PT. PLN (PERSERO) GI TITI KUNING

HARI / TANGGAI		

PEMBIMBING I

Zulfikar, ST, MT



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI<sup>lxxvi</sup>  
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN MUHAMMADIYAH  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
JalanKaptenMughtarBasri No. 3 Telp.(061)6611233-6624567-662400-  
6610450-6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238

Lembar Asistensi Tugas Akhir  
NAMA : RAMADHAN KARO-KARO  
NPM : 12072200904  
JUDUL :  
STUDI ANALISA GANGGUAN HUBUNGAN SINGKAT SATU  
FASA KETANAH AKIBAT SAMBARAN PETIR PADA SALURAN  
TRANSMISI 150 KV PADA PT. PLN (PERSERO) GI TITI KUNING

HARI / TANGGAI		

PEMBIMBING II

IR. Yusniati, M.T.