

**STUDI PERHITUNGAN JUMLAH SAMBARAN LANGSUNG PETIR PADA
SUTT 150 KV DENGAN MENGGUNAKAN METODE AIEE DAN METODE
GELOMBANG-BERJALAN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**GIGIH PRAYOGI
NIM. 0910632007-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2011**

LEMBAR PERSETUJUAN

**STUDI PERHITUNGAN JUMLAH SAMBARAN LANGSUNG PETIR PADA
SUTT 150 KV DENGAN MENGGUNAKAN METODE AIEE DAN METODE
GELOMBANG-BERJALAN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**GIGIH PRAYOGI
NIM. 0910632007-63**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Teguh Utomo, Ir., MT.
NIP. 19650913 199103 1 003**

**Soemarwanto, Ir., MT.
NIP. 19500715 198003 1 002**

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PERHITUNGAN JUMLAH SAMBARAN LANGSUNG PETIR PADA
SUTT 150 KV DENGAN MENGGUNAKAN METODE AIEE DAN METODE
GELOMBANG-BERJALAN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**GIGIH PRAYOGI
NIM. 0910632007-63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 27 Desember 2011

Majelis Penguji:

Wijono, Ir. MT., Ph.D
NIP.19621111 198903 1 003

Moch. Dhofir, Drs., Ir., MT
NIP.19600701 199002 1 001

Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D
NIP.19730520 200801 1 013

Mengetahui:
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Sholeh Hadi Pramono, Dr., Ir., MS
NIP. 19580728 198701 1 001

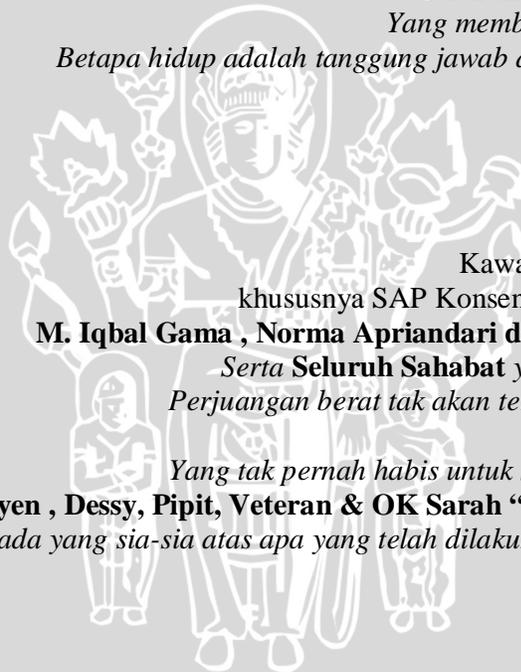


*Teruntuk Allah SWT
Pemilik segala ilmu
Yang memberiku kesempatan untuk
Mempelajari sebagian kecil dari ilmunya*

*Yang terkasih Papa, Mama
dan Seluruh Keluarga Besarku
Yang memberiku penginderaan
Betapa hidup adalah tanggung jawab dari sebuah amanah*

*Yang terbanggakan
Kawan-kawan SAP 2009
khususnya SAP Konsentrasi Sistem Tenaga
M. Iqbal Gama , Norma Apriandari dan Dian Kartika O
Serta **Seluruh Sahabat** yang tak disebutkan
Perjuangan berat tak akan terlewati tanpa kalian*

*Yang tak pernah habis untuk selalu mendampingi
DD Yeyen , Dessy, Pipit, Veteran & OK Sarah “Bobi” communitty
Tak ada yang sia-sia atas apa yang telah dilakukan di masa lampau*



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul “**Studi Perhitungan Jumlah Sambaran Langsung Petir Pada SUTT 150 kV Dengan Menggunakan Metode AIEE dan Metode Gelombang-berjalan**” dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi tersebut disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Dalam penyelesaian skripsi ini, banyak kendala yang dihadapi. Namun skripsi ini dapat diselesaikan atas bantuan dari pihak-pihak yang telah banyak membantu. Oleh karena itu, diucapkan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut diantaranya:

1. Bapak Sholeh Hadi Pramono, Ir., MS., Dr. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.Sc, Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Teguh Utomo, Ir., M.T. dan Soemarwanto, Ir., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi.
4. Bapak Wijono, Ir., M.T., Ph.D, Moch. Dhofir, Drs., Ir., M.T., dan Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji skripsi.
5. Mama dan Papa tercinta atas segala bentuk cinta kasihnya kepada saya yang terwujud dalam bentuk materil, doa dan perjuangannya yang tidak terkira melimpahnya beserta Keluarga besar yang selalu mendukung.
6. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2006, khususnya rekan-rekan Paket A yang tak pernah putus memberikan semangat perjuangan.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu disini sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Di dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, baik itu dalam materi yang ditulis serta sistematika penulisannya. Oleh karena itu, saran dan kritik mengenai skripsi ini masih sangat diharapkan agar skripsi ini dapat menjadi karya tulis yang mendekati sempurna. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 29 Desember 2011

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
ABSTRAK	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Pembahasan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Tegangan Lebih Petir	5
2.2.1 Proses terjadinya petir	5
2.2.2 Pelepasan muatan ke tanah	6
2.2.3 Mekanisme sambaran petir	6
2.2.3.1 Lidah mula (<i>initial leader</i>)	7
2.2.3.2 Sambaran balik (<i>return stroke</i>)	8
2.2.3.3 Sambaran berulang (<i>multiple stroke</i>).....	8
2.2.4 Gelombang sambaran petir	8
2.2.4.1 Pengaruh polaritas awan	8
2.2.4.2 Bentuk gelombang tegangan petir	9
2.3 Macam-macam Gangguan Petir	10
2.3.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku petir	10
2.3.1.1 Faktor-faktor yang bersifat alamiah	11

2.3.1.1.1	Jumlah sambaran petir	11
2.3.1.1.2	Pengaruh ketinggian permukaan bumi	12
2.3.1.1.3	Distribusi amplitude arus petir	12
2.3.1.1.4	Waktu muka arus petir	12
2.3.1.2	Faktor-faktor yang bersifat teknis	13
2.3.1.2.1	Jumlah kawat tanah	13
2.3.1.2.2	Faktor kopling	14
2.3.1.2.3	Tahanan kaki-menara	14
2.3.1.2.4	Konfigurasi menara	15
2.3.1.2.5	Impedansi surja	15
2.4	Metode Penyelesaian Jumlah Sambaran Petir	16
2.4.1	Metode AIEE	16
2.4.2	Metode Gelombang-berjalan	24
2.4.2.1	Gangguan petir pada menara	25
2.4.2.2	Gangguan petir pada seperempat dan setengah-rentangan	29
BAB III METODE PENELITIAN		32
3.1	Umum	32
3.2	Studi Literatur	33
3.3	Survei Lapangan dan Pengambilan Data	33
3.4	Analisis dan Pembahasan	36
3.5	Penarikan Kesimpulan dan Saran	36
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Perhitungan Distribusi Tahanan Kaki Menara dan Kepadatan Sambaran Petir	37
4.1.1	Distribusi tahanan kaki menara	37
4.1.2	Menentukan kepadatan sambaran petir	39
4.2	Metode Perhitungan Jumlah Sambaran Petir Terhadap SUTT 150 kV Pada Kawat-Tanah	39
4.2.1	Metode AIEE pada penghantar 150 kV di GI Sengkaling-GI Kebonagung	39
4.2.2	Metode Gelombang-berjalan pada GI Sengkaling-GI Kebonagung	43
4.2.2.1	Jumlah sambaran petir/gangguan petir pada menara	44
4.2.2.2	Jumlah sambaran petir/gangguan petir pada seperempat-rentangan.....	48
4.2.2.3	Jumlah sambaran petir/gangguan petir pada setengah-rentangan.....	48

4.3 Perbandingan Antara Hasil Perhitungan Dengan Gangguan Sebenarnya 49

BAB V PENUTUP 51

5.1 Kesimpulan 51

5.2 Saran 52

DAFTAR PUSTAKA 53

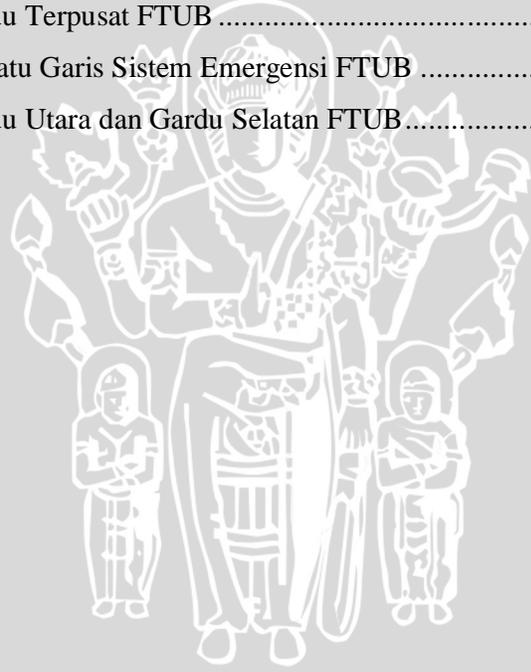
LAMPIRAN 54



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tahapan Proses Sambaran Petir.....	7
Gambar 2.2 Bentuk Gelombang Tegangan Petir	9
Gambar 2.3 Peta IKL Pulau Jawa	12
Gambar 2.4 Sudut Proteksi (θ) kawat-tanah	14
Gambar 2.5 Perbandingan penampilan saluran transmisi terhadap petir antara 1 dengan 2 kawat-tanah pada ketinggian 130 kaki	15
Gambar 2.6 Menara model kerucut Sergent & Darvenisa.....	16
Gambar 2.7 Kurva untuk memperkirakan isolasi-len dan gelagatnya, didasarkan pada isolator standar $10 \times 5 \frac{3}{4}$ atau yang ekuivalen dan tingkat hari guruh 30. Angka-angka dalam kurva-kurva (a) sampai (f) menunjukkan tahanan kaki-tiang, sedang dalam (g) dan (h) rentangan	21
Gambar 2.8 –(Lanjutan)	22
Gambar 2.9 Karakteristik Isolator	23
Gambar 2.10 Kurva Kemungkinan Arus Petir	23
Gambar 2.11 Faktor Koreksi Untuk Tinggi Kawat-Tanah dan Jarak Kawat-Tanah	24
Gambar 2.12 Konfigurasi Saluran Transmisi dan Kawat Bayangan	25
Gambar 2.13 Kurva Untuk Menentukan TID (Tingkat Isolasi Dasar)	27
Gambar 2.14 Lengkungan Kawat-Tanah dan Kawat-Fasa.....	30
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	32
Gambar 3.2 Diagram SUTT Wilayah UPT Malang.....	34
Gambar 4.1 Menara Transmisi 150 kV Sengkaling-Kebonagung.....	39
Gambar 4.2 Konfigurasi Saluran Transmisi 150 kV.....	40
Gambar 4.3 Konfigurasi Saluran Transmisi 150 kV.....	43
Gambar 4.5 Pola Konsumsi Energi Listrik pada Tiap Gardu di FTUB.....	29
Gambar 4.6 Selisih Arus Maksimum pada Tiap Gardu di FTUB.....	30
Gambar 4.7 Faktor Daya Rata-rata pada Tiap Gardu di FTUB.....	31
Gambar 4.8 Distorsi Harmonisa Arus Rata-rata pada Tiap Gardu di FTUB.....	32
Gambar 4.9 Jenis Beban Listrik Jurusan Elektro FTUB	34
Gambar 4.10 Kebutuhan Emergensi Listrik Jurusan Elektro FTUB	36
Gambar 4.11 Jenis Beban Listrik Jurusan Mesin FTUB	37
Gambar 4.12 Kebutuhan Emergensi Listrik Jurusan Mesin FTUB	39

Gambar 4.13 Jenis Beban Listrik PSTI FTUB	40
Gambar 4.14 Kebutuhan Emergensi Listrik PSTI FTUB	41
Gambar 4.15 Jenis Beban Listrik Jurusan Sipil FTUB	42
Gambar 4.16 Kebutuhan Emergensi Listrik Jurusan Sipil FTUB	45
Gambar 4.17 Jenis Beban Listrik Jurusan Arsitektur FTUB	46
Gambar 4.18 Kebutuhan Emergensi Listrik Jurusan Arsitektur FTUB	47
Gambar 4.19 Jenis Beban Listrik Jurusan Pengairan FTUB	48
Gambar 4.20 Kebutuhan Emergensi Listrik Jurusan Pengairan FTUB	50
Gambar 4.21 Jenis Beban Listrik Jurusan PWK FTUB	51
Gambar 4.22 Kebutuhan Emergensi Listrik Jurusan PWK FTUB	52
Gambar 4.23 Jenis Beban Listrik Gedung Dekanat FTUB	53
Gambar 4.24 Kebutuhan Emergensi Listrik Gedung Dekanat FTUB	54
Gambar 4.25 Letak Gardu Terpusat FTUB	55
Gambar 4.26 Diagram Satu Garis Sistem Emergensi FTUB	56
Gambar 4.27 Letak Gardu Utara dan Gardu Selatan FTUB	57



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan Antara Arus Petir dan Seringnya Terjadi 13

Tabel 2.2 Hubungan Antara Waktu Untuk Mencapai Harga Puncak dan Seringnya Terjadi 13

Tabel 2.3 Ikhtisar Penyelidikan ANACOM 18

Tabel 3.1 Data Hari Guntur (*thunderstrom days*) 35

Tabel 4.1 Tahanan Kaki Tower 150 kV GI Sengkaling- GI Kebonagung..... 37

Tabel 4.2 Nilai Tahanan Kaki Tower yang telah dibagi menjadi 3 bagian 38

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Jumlah Sambaran Petir Menggunakan Metode AIEE..... 42

Tabel 4.4 Hasil-hasil perhitungan untuk menentukan gangguan karena sambaran petir yang mengenai menara pada penghantar 150 kV Sengkaling-Kebonagung . 47

Tabel 4.5 Perbandingan antara hasil perhitungan dengan gangguan sebenarnya 50



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Data Hari Guntur (*thunderstrom days*) 55

Lampiran 2 Gambar Route SUTT 150 kV Wilayah Kerja UPT Malang 56

Lampiran 3.1 Konstruksi Tower Tiang 1 GI Sengkaling – GI Kebonagung 57

Lampiran 3.2 Hasil Pengukuran Tahanan Kaki Tower 1 (Oktober 2011) 57

Lampiran 4.1 Konstruksi Tower Tiang 2 GI Sengkaling – GI Kebonagung 58

Lampiran 4.2 Hasil Pengukuran Tahanan Kaki Tower 2 (Oktober 2011) 58

Lampiran 5.1 Konstruksi Tower Tiang 3 GI Sengkaling – GI Kebonagung 59

Lampiran 5.2 Hasil Pengukuran Tahanan Kaki Tower 3 (Oktober 2011) 59

Lampiran 6 Tabel Data Pengukuran Tahanan Kaki Tower (Agustus 2010) 60

Lampiran 7 Tabel Jarak Kilometer Route & Kilometer Sirkuit SUTT 62

Lampiran 8 Tabel Data Jaringan Transmisi Wilayah Kerja UPT Malang 63

Lampiran 9 Tabel Jurnal Gangguan Per Tahun Wilayah Kerja UPT Malang 64



ABSTRAK

Gigih Prayogi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Oktober 2011, *Studi Perhitungan Jumlah Sambaran Langsung Petir Pada SUTT 150 kV Dengan Menggunakan Metode AIEE dan Metode Gelombang-berjalan*, Dosen Pembimbing : Teguh Utomo, Ir., MT. dan Soemarwanto, Ir., MT.

Setiap peluahan petir yang terjadi di dalam awan, antar awan maupun dari awan ke tanah, akan memunculkan radiasi elektrik dengan spektrum frekuensi sangat lebar (dalam orde kHz hingga orde MHz). Oleh sebab itu, petir seringkali menyebabkan gangguan pada saluran transmisi. Gangguan petir pada saluran transmisi dapat berupa sambaran langsung (*direct stroke*) dan sambaran tak langsung (*indirect stroke*) yang dapat menyebabkan terganggunya saluran transmisi dalam menghantarkan daya listrik. Pada saluran udara tegangan tinggi gangguan petir umumnya disebabkan oleh sambaran langsung (*direct stroke*) sedangkan sambaran tak langsung (*indirect stroke*) sangat kecil pengaruhnya terhadap sistem kerja saluran udara tegangan tinggi karena hanya menimbulkan induksi elektrostatik sebagai akibat adanya awan bermuatan di dekat sistem.

Untuk prakiraan gangguan yang disebabkan oleh gangguan sambaran langsung petir pada SUTT 150 kV maka dibutuhkan suatu metode perhitungan jumlah sambaran petir per tahun. Ini bertujuan agar dapat meminimalisir gangguan petir berikutnya dengan mengetahui beberapa faktor yang sering mengakibatkan sambaran petir terjadi.

Berdasarkan data yang diperoleh dari GI Sengkaling – GI Kebonagung, untuk dapat memperoleh jumlah sambaran petir per tahun maka dibutuhkan data konstruksi tower, tahanan kaki tower, BIL isolator dan juga jurnal gangguan per tahun yang akan diteliti. Data ini dianalisis menggunakan 2 metode perhitungan yaitu metode AIEE dan metode Gelombang-berjalan hingga memperoleh persentase perbandingan jumlah gangguan analisis dengan persentase jumlah gangguan yang sebenarnya. Setelah dibandingkan maka diperoleh nilai persentase perbandingan dari jumlah gangguan yang sebenarnya, kemudian pilih persentase yang paling mendekati nilai persentase jumlah gangguan sebenarnya dari 2 metode ini.

Hasil studi perhitungan jumlah sambaran langsung petir dengan menggunakan metode AIEE dan metode Gelombang-berjalan menunjukkan bahwasanya metode Gelombang-berjalan memiliki nilai lebih akurat dari metode AIEE. Dibandingkan dengan jumlah gangguan yang sebenarnya pada tahun 2010 adalah 3, metode Gelombang-berjalan diperoleh jumlah gangguan sebesar 3,1174 per tahun dengan nilai selisih persentase perbandingan adalah 3,913% (indeks 100 %) dari jumlah gangguan sebenarnya.

Kata kunci: peluahan petir, *direct stroke*, *indirect stroke*, AIEE, Gelombang-berjalan

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Petir adalah suatu fenomena alam yang disebabkan adanya peluahan muatan elektrik di atmosfer yang memiliki arus sangat besar dan waktu yang sangat singkat sehingga sulit untuk dikendalikan. Fenomena alam ini ditandai dengan suara guruh dan kilatan cahaya yang diakibatkan oleh adanya peluahan muatan dalam jumlah besar dan cepat. Ada dua tipe umum peluahan petir yaitu: petir yang terjadi antara awan dan permukaan tanah dan petir yang terjadi di dalam awan dan antar awan.

Setiap peluahan petir yang terjadi di dalam awan, antar awan maupun dari awan ke tanah, akan memunculkan radiasi elektrik dengan spektrum frekuensi sangat lebar (dalam orde kHz hingga orde MHz). Oleh sebab itu, petir seringkali menyebabkan gangguan pada saluran transmisi. Gangguan petir pada saluran transmisi dapat berupa sambaran langsung (*direct stroke*) dan sambaran tak langsung (*indirect stroke*) yang dapat menyebabkan terganggunya saluran transmisi dalam menghantarkan daya listrik. Pada saluran udara tegangan tinggi gangguan petir umumnya disebabkan oleh sambaran langsung (*direct stroke*) sedangkan sambaran tak langsung (*indirect stroke*) sangat kecil pengaruhnya terhadap sistem kerja saluran udara tegangan tinggi karena hanya menimbulkan induksi elektrostatik sebagai akibat adanya awan bermuatan di dekat sistem. Sambaran tak langsung (*indirect stroke*) lebih berpengaruh terhadap saluran udara tegangan menengah.

Tingkat hari guruh di Indonesia sangat tinggi. Menurut peta IKL (*Isokeraunik Level*), kota Malang dan daerah sekitarnya mempunyai jumlah hari guruh rata-rata per tahun, yaitu 55 (tertanggal 31 Juni 2011: BMKG Karangates), sehingga sambaran petir sering menimbulkan gangguan pada saluran udara tegangan tinggi. Aktifitas petir di suatu daerah yang dilewati saluran transmisi harus dapat diketahui, sehingga gangguan yang terjadi dan akibatnya dapat dikurangi.

Untuk memperoleh gambaran yang sebenarnya gangguan tersebut harus dihitung dengan metode yang baik sesuai keadaan saluran transmisi dan lokasi yang dilewati. Hal ini perlu diketahui agar tidak menimbulkan berbagai macam kesulitan pada usaha perbaikan penampilan sistem transmisi terhadap sambaran petir. Ada dua metode yang

dipergunakan dalam menganalisis jumlah sambaran langsung petir ini yaitu metode AIEE (SPLN 13 : 1978) dan metode gelombang berjalan.

Metode AIEE merupakan metode perhitungan jumlah gangguan kilat pada kawat-tanah dengan menggunakan studi analog komputer. Metode ini menganggap bahwa sambaran petir sepenuhnya pada puncak menara atau sepenuhnya dipertengahan antara dua menara, sedangkan arus sambarannya dianggap sebagai arus yang harganya tertentu dan tetap, artinya besarnya arus tidak tergantung dari impedansi bagian transmisi yang disambar petir. Metode ini telah membuktikan keberhasilannya pada sistem kerja saluran udara tegangan tinggi bertegangan sampai 230 kV dan telah ditetapkan oleh PLN sebagai cara untuk memperkirakan nilai gangguan pada sistem transmisi 66 kV dan 150 kV.

Metode gelombang berjalan menganggap bahwa sambaran petir dapat mengenai menara, seperempat-span, dan setengah-span. Menurut Anderson (1961), perbandingan jumlah sambaran petir tersebut berturut-turut adalah 60%, 30%, dan 10%. Perhitungan metode ini berdasarkan teori dari gelombang berjalan, dengan memakai pendekatan, antara lain: (a). gelombang refleksi negatif yang datang dari dasar menara terlebih dahulu akan memperkecil gelombang kawat-fasa paling bawah dan oleh karena itu hampir semua lewat-denyar terjadi pada kawat-fasa paling atas, (b). gelombang surja dicirikan dengan amplitude dan waktu puncak saja sedangkan waktu ekor tidak diperhatikan, (c). selama menjalar pada saluran transmisi gelombangnya dianggap tetap atau tidak mengalami distorsi gelombang.

Pada skripsi ini akan dilakukan analisis untuk membandingkan penggunaan kedua metode tersebut sampai didapatkan perhitungan yang lebih akurat dan memiliki persentase perbandingan terkecil sehingga nantinya dapat dipilih suatu metode perhitungan jumlah sambaran langsung petir pada SUTT 150 kV yang lebih baik.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Berapakah jumlah sambaran langsung petir pada pendekatan dengan menggunakan metode AIEE.
2. Berapakah jumlah sambaran langsung petir pada pendekatan dengan menggunakan metode Gelombang Berjalan.

3. Metode perhitungan manakah yang jumlah sambaran langsung petir memiliki jumlah gangguan mendekati sebenarnya dengan persentase perbandingan yang terkecil.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pembahasan dalam penelitian ini adalah:

1. Pembahasan jumlah sambaran langsung petir ditekankan pada penggunaan metode AIEE dan Gelombang-berjalan di saluran transmisi GI Kebon Agung dan GI Sengkaling.
2. Pembahasan hanya melingkupi studi analisis yang berdasarkan *software* simulasi/program yang digunakan pihak PLN (Persero).

1.4. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperoleh jumlah sambaran langsung petir melalui dua metode pendekatan yaitu dengan metode pendekatan AIEE dan Gelombang-berjalan.
2. Menghitung nilai angka-keluar/gangguan perilaku petir dengan menggunakan metode pendekatan AIEE dan Gelombang-berjalan.
3. Menganalisis, menentukan serta memilih faktor koreksi yang terkecil dari dua metode tersebut dan membandingkannya dengan gangguan yang sebenarnya.

1.5. Manfaat

Diharapkan dengan penelitian ini dapat memberikan manfaat berupa:

1. Penulis dapat menambah pengetahuan tentang jumlah sambaran langsung petir dengan menggunakan 2 metode pendekatan yaitu metode AIEE dan gelombang-berjalan.
2. Memberikan masukan kepada pihak PLN (Persero) untuk mempertimbangkan penggunaan/pemilihan metode perhitungan perilaku petir yang memiliki faktor koreksi terkecil dari nilai gangguan sebenarnya.

1.6. Sistematika Pembahasan

Penelitian ini disusun dengan urutan sebagai berikut :

BABI : Berisi judul penelitian, latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, manfaat serta sistematika pembahasan.

- BAB II** : Berisi tinjauan pustaka yang meliputi dasar-dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan.
- BAB III** : Berisi metode penelitian yang meliputi studi lapangan dan pengambilan data penelitian.
- BAB IV** : Berisi pembahasan dan analisis dari perhitungan jumlah sambaran langsung petir dengan dua metode pendekatan yaitu menggunakan metode AIEE dan Gelombang-berjalan.
- BAB V** : Berisi kesimpulan dan saran dalam skripsi ini..

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

DASAR TEORI

2.1. Umum

Berdasarkan teori maupun hasil pengamatan lapangan, faktor utama yang menyebabkan terjadinya gangguan pada saluran udara tegangan tinggi atau saluran transmisi adalah sambaran langsung petir. Sambaran ini akan menimbulkan tegangan lebih pada saluran transmisi. Jika tegangan lebih tersebut besarnya melebihi kekuatan isolasinya, akan terjadi lewat denyar dan dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran daya listrik.

Untuk mengetahui lebih banyak tentang tegangan lebih yang ditimbulkan oleh petir, perlu dipelajari proses terjadinya petir dan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhinya.

2.2. Tegangan Lebih Petir

2.2.1. 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 mengondensasi menjadi titik air, dan membentuk awan.

Angin keras yang meniup ke atas membawa awan lebih tinggi. Pada ketinggian ± 5 km, membeku menjadi kristal es yang turun lagi karena adanya gravitasi bumi. Karena tetesan air mengalami pergeseran horizontal maupun vertical, maka terjadilah pemisahan muatan listrik. Tetesan air yang bermuatan positif biasanya berada dibagian atas, dan yang bermuatan negatif dibagian 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 dapat dianggap sebagai kedua plat kondensator. Jika medan listrik yang terjadi melebihi medan tembus udara, maka akan terjadi pelepasan muatan. Pada saat itulah terjadi petir.

Kondisi ketidak mantapan didalam atmosfer, dapat saja timbul akibat pemisahan tidak seperti diatas. Misalnya muatan yang terjadi berpisah kearah horizontal, yang kemudian menimbulkan pelepasan muatan antara dua awan. Atau pemisahan muatan

vertikal tersebut terjadi sebaliknya, hingga arah discharge muatan atau petir juga terbalik.

2.2.2. Pelepasan muatan ke tanah

Dengan adanya muatan negatif pada lapisan bagian bawah awan, dipermukaan bumi akan terinduksi muatan positif, hingga terbentuk medan listrik antara awan dengan permukaan bumi. Bila medan listrik tersebut melebihi kekuatan medan tembus udara, maka akan terjadi pelepasan muatan dan saat itulah terjadi petir.

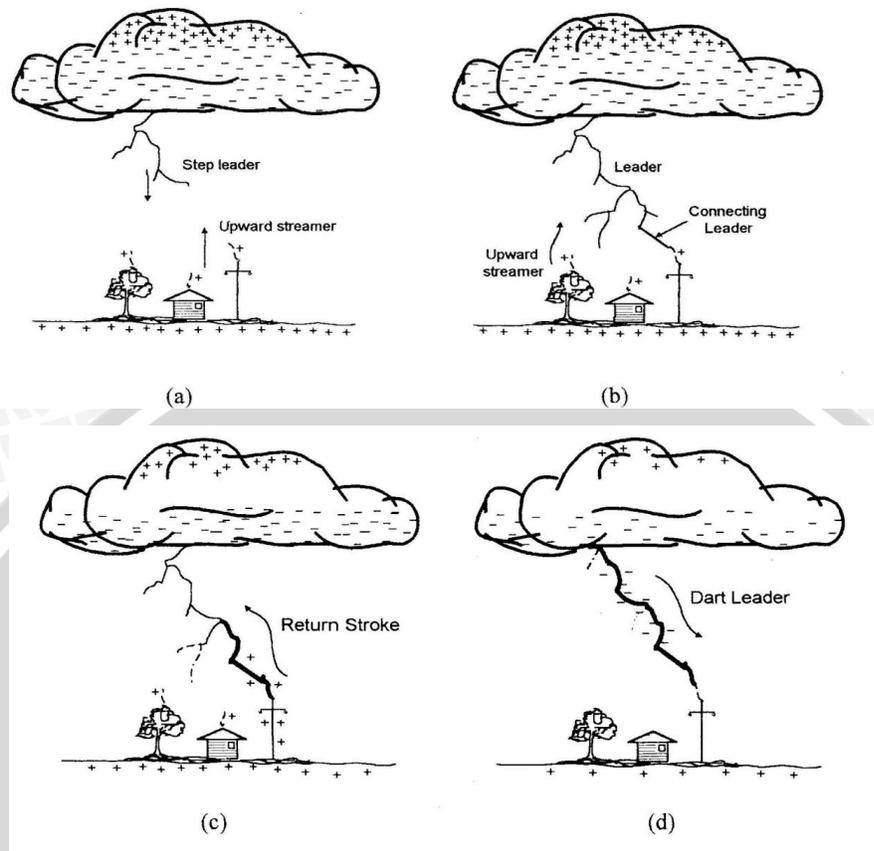
Kuat medan yang diperlukan untuk mengawali aliran adalah 10-40 kV/m dan pada awan yang mempunyai ketinggian 1-2 km diatas permukaan bumi dapat menghasilkan suatu tegangan sebesar 100 MV. (Sirait, 1987 : III.1).

Kondisi yang tidak stabil di dalam atmosfer dapat pula menimbulkan pemisahan muatan kearah horizontal, yang kemudian menimbulkan pelepasan muatan antara awan dengan awan, atau pemisahan muatan ke arah vertikal berubah menjadi sebaliknya sehingga arah pelepasan muatan atau terjadinya petir juga terbalik.

2.2.3. Mekanisme sambaran petir

Besarnya konsentrasi muatan listrik di awan sangat terbatas dan tergantung pada kemampuan awan itu. Jadi, permukaan bumi dapat dianggap sebagai electrode yang mempunyai luas tak terhingga. Gradien di permukaan bumi tidak pernah lebih besar dari 100 volt/cm sehingga pelepasan muatan akan cenderung berasal dari awan. (Subekti, 1989 : 10).

Dari pengamatan dengan Boys Camera (Subekti, 1989 : 10), dapat disimpulkan bahwa lidah petir yang tampak oleh mata sebenarnya terdiri dari beberapa sambaran terpisah yang bergerak turun melalui jalan yang sama dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tahapan proses sambaran petir.

Sumber: Gunawan Nedi, 2011 : 6-7.

2.2.3.1. Lidah mula (*Initial Leader*)

Setiap sambaran petir berasal dari suatu lidah petir yang bergerak turun dan didahului oleh aliran-pengemudi (*pilot-streamer*) yang menentukan arah perambatan muatan dari awan ke udara yang ionisasinya rendah. Dalam perambatannya, aliran-pengemudi diikuti oleh titik cahaya yang bergerak melompat-lompat yang disebut lidah-lompat. Arah dari lidah-lompat (*stepped-leader*) selalu berubah-ubah sehingga jalannya tidak lurus dan patah-patah. (Subekti, 1989 : 10).

Pada waktu lidah petir menuju bumi, cabang-cabang dari lidah utama akan terbentuk dan bila telah mendekati bumi, akan terjadi kanal muatan positif dari bumi yang bergerak menuju awan karena ada beda potensial yang tinggi. Kanal muatan positif ini bertemu dengan ujung lidah petir pada ketinggian 20-70 m diatas permukaan bumi dan titik pertemuannya disebut titik sambaran (*point of strike*). (Subekti, 1989 : 10).

2.2.3.2. Sambaran balik (*Return Stroke*)

Ketika lidah petir mengenai bumi, terjadi sambaran balik yang sangat terang bergerak keatas melalui lintasan atau jalur yang sama.

Sambaran balik terjadi karena aliran muatan positif dari bumi menuju pusat muatan di awan atau aliran bermuatan negatif dari awan ke bumi. Setelah sambaran balik yang pertama akan diikuti sambaran berikutnya, karena bagian lain awan masih terdapat muatan yang cukup banyak.

Arus pada setiap sambaran rata-rata 20 kA, dalam keadaan tertentu bisa mencapai 100 kA. Arus petir ini merupakan arus impuls yang harga puncaknya dicapai dalam beberapa mikrodetik.

2.2.3.3. Sambaran berulang (*Multiple Stroke*)

Setelah sambaran balik yang pertama, biasanya masih ada pusat muatan yang lain di awan untuk memulai sambaran petir berikutnya. Sambaran ini dimulai oleh lidah petir yang mengikuti jalan yang dilalui oleh sambaran balik sebelumnya, dengan ciri-ciri tidak mempunyai percabangan dan disebut lidah-panah (*dart-leader*). Lidah-panah ini sampai di bumi dengan kecepatan 1 milidetik.

Selanjutnya, lidah-panah ini diikuti oleh sambaran balik berikutnya dengan interval waktu antara 40-50 milidetik. Biasanya sambaran petir dapat terdiri atas 4 sambaran balik, kadang-kadang dapat pula terdiri atas 10 sambaran balik. (Subekti, 1989 : 11).

2.2.4. Gelombang sambaran petir

2.2.4.1. Pengaruh polaritas awan

Berdasarkan hasil penyelidikan, bagian bawah awan sebagian besar bermuatan negatif, tetapi dapat juga bermuatan positif. Polaritas ini berpengaruh pada besar arus dan arahnya.

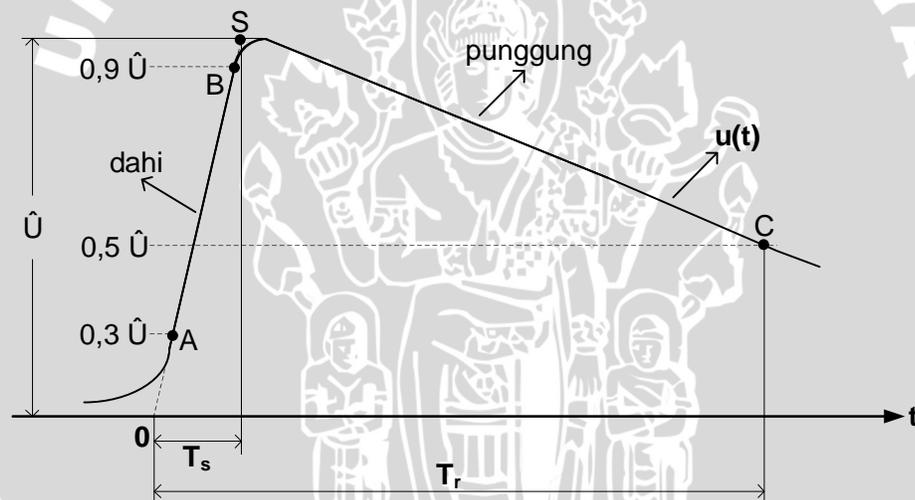
Pada lapisan bagian bawah awan negatif, arus sambaran petir antara 50 - 300 A dan dibawah awan positif berkisar antara 1000 - 3000 A. Besar arus sambaran balik dibawah awan negatif antara 8 – 150 kA, dan dibawah awan positif dapat mencapai 300 kA. (Sirait, 1987 : I.7).

2.2.4.2. Bentuk gelombang tegangan petir

Pelepasan muatan oleh petir dapat menimbulkan tegangan lebih. Tegangan lebih ini mempunyai bentuk gelombang aperiodik yang diredamkan, seperti pelepasan muatan sebuah kapasitor melalui sebuah tahanan yang induktif.

Pada saluran transmisi yang tersambar petir, gelombangnya berekor pendek dan mempunyai muka yang curam. Selama gelombang ini berjalan pada saluran transmisi bentuknya akan berubah, yaitu mukanya akan menjadi kurang curam, amplitude berkurang, dan ekornya menjadi panjang. Peristiwa ini terjadi karena pengaruh rangkaian tertutup terhadap pentanahan sehingga pantulan gelombang petir tersebut sedikit demi sedikit akan habis.

Gambar 2.2 memperlihatkan bentuk gelombang tegangan petir menurut rekomendasi IEC (*International Electrotechnical Commission*) dengan standar $1,2 \times 50 \mu\text{s}$. (Subekti, 1989 : 16).



Gambar 2.2 Bentuk gelombang tegangan petir menurut rekomendasi IEC dengan standar $1,2 \times 50 \mu\text{s}$.

Sumber: Kind, 1993 : 34

Waktu muka (T_s) ialah waktu yang terjadi pada muka gelombang dimulai dari titik perpotongan sumbu waktu t dengan garis lurus yang dibentuk dari titik $0,3\hat{U}$ (A), $0,9\hat{U}$ (B) dan S hingga mencapai titik potong sumbu waktu t dengan garis vertikal dari titik S. Sedangkan waktu paruh punggung (T_r) adalah waktu yang dibutuhkan mulai dari titik nol hingga mencapai setengah dari nilai puncak tegangan $0,5\hat{U}$ (titik C) pada ekor gelombang.

2.3. Macam-macam Gangguan Petir

Yang dimaksud dengan perilaku petir pada aluran transmisi adalah jumlah gangguan yang disebabkan oleh sambaran langsung petir yang dinyatakan dengan angka-keluar, dengan satuan gangguan per 100 km per tahun. (Subekti, 1989 : 17).

Berdasarkan pengalaman, ternyata jumlah gangguan pada saluran transmisi yang disebabkan oleh sambaran petir cukup besar, terutama untuk daerah yang mempunyai Isokeraunik level yang tinggi.

Gangguan petir pada saluran transmisi dapat dibedakan menurut tempat pada saat petir itu menyambar, yaitu : (Subekti, 1989 : 17).

1. Gangguan petir pada kawat-fasa atau gangguan petir akibat kegagalan perlindungan kawat-tanah.
2. Gangguan petir pada kawat-tanah, yang menurut Anderson dibagi menjadi tiga macam gangguan, yaitu :
 - a. Gangguan petir pada menara, 60%.
 - b. Gangguan petir pada seperempat jarak menara, 30%.
 - c. Gangguan petir pada setengah jarak menara, 10%.

Jumlah gangguan total akibat sambaran langsung petir pada saluran transmisi, dinyatakan dengan persamaan : (Subekti, 1989 : 17).

$$STR : GF + GT + GQ + GM \quad (2-1)$$

Dalam hal ini :

STR : Jumlah gangguan total per 100 km per tahun.

GF : Jumlah gangguan petir pada kawat-fasa.

GT : Jumlah gangguan petir pada menara.

GQ : Jumlah gangguan petir pada seperempat jarak menara.

GM : Jumlah gangguan petir pada setengah jarak menara.

Untuk saluran transmisi yang menggunakan menara baja yang panjangnya kurang dari 100 mi, maka jumlah gangguan total diperoleh dengan persamaan :

$$STR = 0,85 (GF + GT + GQ + GM) \quad (2-2)$$

2.3.1. Faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku petir

Banyak sekali faktor yang mempengaruhi perilaku petir ini, secara garis besar dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Faktor yang bersifat alamiah, yaitu kondisi yang sudah ada sebelum saluran transmisi dibangun.

2. Faktor yang bersifat teknis, yaitu faktor-faktor yang tergantung pada pemilihan sistem saluran transmisi.

2.3.1.1. Faktor-faktor yang bersifat alamiah

2.3.1.1.1. Jumlah sambaran petir

Gangguan yang disebabkan oleh petir tergantung dari jumlah sambarannya. Semakin banyak petir yang menyambar saluran transmisi, semakin besar pula kemungkinan terjadinya gangguan. Jumlah sambaran ini dipergunakan untuk menentukan jumlah gangguan pada saluran transmisi.

Untuk menentukan jumlah sambaran petir, harus mempunyai pengetahuan tentang tingkat hari-guruh atau *Isokeraunik Level* (IKL) dari suatu daerah. Biasanya IKL ini diselidiki oleh Badan Meteorologi dan Geofosika yang hasilnya digambarkan dalam Peta IKL, seperti pada Gambar 2.3.

Jumlah hari-guruh ini digunakan untuk menentukan kepadatan sambaran petir per meterpersegi per tahun, dan dinyatakan dengan persamaan: (Subekti, 1989 : 19).

$$D = 8,875 \times 10^{-8} \times \text{IKL petir/m}^2/\text{tahun} \quad (2-3)$$

Dengan mengetahui harga kepadatan petir dan luas daerah yang dilindungi kawat-tanah, maka jumlah sambaran petir yang mungkin terjadi pada saluran transmisi per 100 km per tahun, adalah: (Subekti, 1989 : 19).

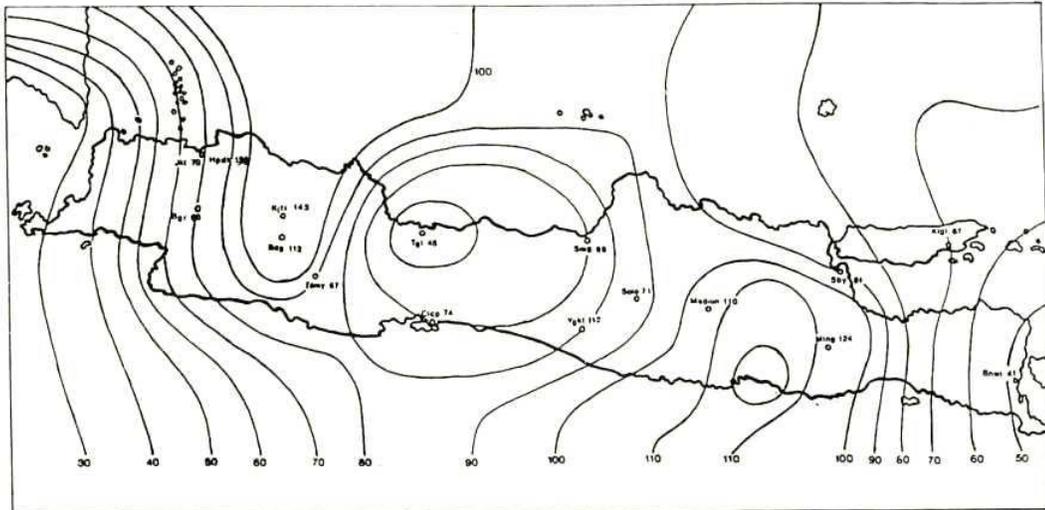
$$L = 100 \times \frac{1000}{s} \times A \times D \text{ petir}/100 \text{ km}/\text{tahun} \quad (2-4)$$

dan

$$A = (2\pi + 1)h_t^2 + 4 h_g(S - h_t) \text{ m}^2 \quad (2-5)$$

Dalam hal ini:

- IKL : jumlah hari-guruh rata-rata per tahun
- D : kepadatan petir per m² per tahun
- L : jumlah sambaran petir per 100 km per tahun
- h_t : tinggi menara transmisi, meter
- h_g : tinggi rata-rata kawat-tanah, meter
- S : jarak antara dua menara, meter
- A : luas daerah yang dilindungi kawat-tanah untuk tiap jarak antara dua menara (s), m².



Gambar 2.3 Peta IKL Pulau Jawa
Sumber: BMKG karangkates 2010

2.3.1.1.2. Pengaruh ketinggian permukaan bumi

Petir lebih cenderung menyambar pada tempat-tempat yang tinggi di permukaan bumi, karena kuat medan disekitar ujung atau puncak bangunan lebih rapat dan sifat dari muatan yang cenderung mengumpul pada ujung yang runcing. Saluran transmisi yang melewati tempat-tempat yang tinggi lebih cenderung disambar petir.

2.3.1.1.3. Distribusi amplitude arus petir

Muatan yang terkandung dalam awan bervariasi dan besarnya tergantung dari keaktifan awan itu dalam mengumpulkan muatan, oleh karena itu arus petir yang terjadi besarnya tidak sama.

Berdasarkan hasil penyelidikan, arus petir mempunyai amplitude antara 2 – 100 kA dan bentuk distribusinya akan dipengaruhi oleh bentuk menara yang digunakan. Semakin tinggi obyek maka semakin besar pula amplitude arus petir yang menyambarnya. (Subekti, 1989 : 21).

Hubungan antara besar arus petir dan seringnya terjadi dapat dilihat pada Tabel 2.1. Harga-harga ini adalah harga statistic sehingga hasil perhitungan dengan harga ini merupakan hasil kemungkinan.

2.3.1.1.4. Waktu muka arus petir

Waktu muka atau waktu puncak merupakan parameter yang cukup penting untuk menghitung tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir pada saluran

transmisi. Dari hasil penyelidikan menunjukkan bahwa waktu muka ternyata bervariasi antara 0,5 – 10 mikrodetik. Semakin kecil waktu mukanya, maka semakin cepat harga puncak amplitude tercapai, dan ini lebih berbahaya dari pada arus petir dengan waktu muka yang lebih besar.

Hubungan antara waktu untuk mencapai harga puncak dengan seringnya terjadi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Hubungan antara arus petir dan seringnya terjadi

Arus Petir (kA)	Seringnya Terjadi (%)
20	36
40	34
60	20
80	8
100	2

Sumber: Subekti, 1989 : 22

Tabel 2.2 Hubungan antara waktu untuk mencapai harga puncak dan seringnya terjadi.

Waktu untuk mencapai harga puncak (mikrodetik)	Seringnya Terjadi (%)
0,5	7
1,0	23
1,5	22
2,0	18
2,5	30

Sumber: Subekti, 1989 : 22

2.3.1.2. Faktor-faktor yang bersifat teknis

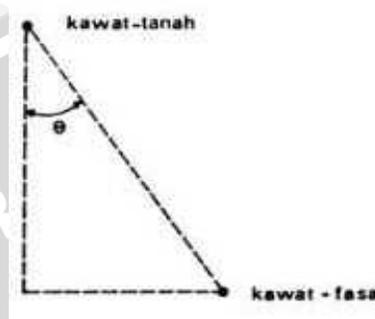
2.3.1.2.1. Jumlah kawat tanah

Penggunaan kawat-tanah pada saluran transmisi dapat mengurangi terjadinya gangguan pada kawat-fasa, karena kawat-tanah dapat menangkap sambaran petir dan menyalurkan arus petir ke tanah.

Pemasangan dua kawat-tanah diatas kawat-fasa lebih baik dibandingkan dengan pemasangan satu kawat-tanah, karena dengan dua kawat-tanah impedansi surja akan berkurang, faktor kopling dengan kawat-fasa bertambah baik, dan sudut proteksinya menjadi kecil, sehingga penampilan dari saluran transmisi menjadi lebih baik.

Perbandingan penampilan saluran transmisi terhadap petir antara penggunaan satu kawat-tanah dengan dua kawat-tanah pada ketinggian 130 kaki, dapat dilihat pada Gambar 2.7.

Yang dimaksud dengan sudut proteksi adalah sudut yang dibentuk oleh garis vertikal yang melalui kawat-tanah dan garis yang menghubungkan kawat-tanah dengan kawat-fasa, lihat Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sudut Proteksi (θ) kawat-tanah
Sumber: Sirait, 1989 : III-13

Mengenai sudut proteksi ini, Provoost memberi kesimpulan sebagai berikut: (Subekti, 1989 : 24).

1. Sudut proteksi $\theta \leq 18^\circ$, perlindungan terhadap saluran transmisi adalah baik.
2. Sudut proteksi $\theta \leq 30^\circ$, perlindungan terhadap saluran transmisi kurang baik.
3. Sudut proteksi $\theta > 40^\circ$, perlindungan terhadap saluran transmisi adalah jelek.

2.3.1.2.2. Faktor kopling

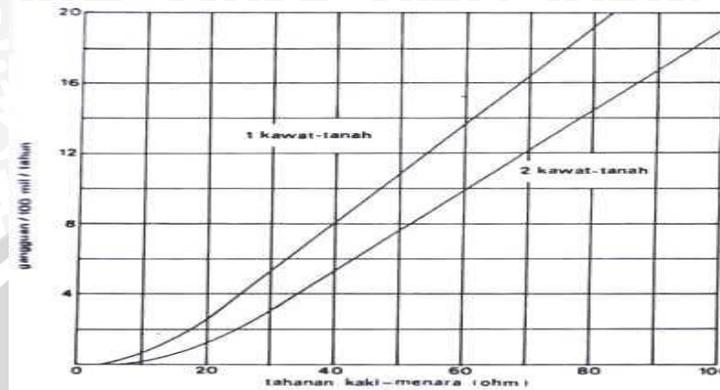
Apabila petir menyambar kawat-tanah atau menara maka pada kawat-fasa akan terinduksi tegangan petir. Perbandingan antara tegangan induksi pada kawat-fasa dengan tegangan induksi pada kawat-tanah dinamakan faktor kopling.

Besarnya faktor kopling ditentukan oleh susunan dan jumlah kawat-tanah yang terpasang pada saluran transmisi. Jika faktor koplingnya bertambah besar, maka tegangan pada isolator akan bertambah kecil, sehingga kemungkinan terjadinya gangguan pada saluran transmisi akan berkurang. (Subekti, 1989 : 24).

2.3.1.2.3. Tahanan kaki-menara

Jenis tanah di sekitar menara dapat mempengaruhi harga tahanan kaki-menara, dan tahanan kaki-menara berpengaruh pada besar tegangan di isolator. Apabila tahanan kaki-menara bertambah kecil, maka gelombang refleksi negatif dari dasar menara

bertambah besar, sehingga tegangan pada isolator akan berkurang, akibatnya kemungkinan terjadinya lewat denyar pada isolator juga akan berkurang. (Subekti, 1989 : 24). Peranan harga tahanan kaki-menara terhadap perilaku petir pada saluran transmisi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Perbandingan penampilan saluran transmisi terhadap petir antara 1 dengan 2 kawat-tanah pada ketinggian 130 kaki.

Sumber: Subekti, 1989 : 25

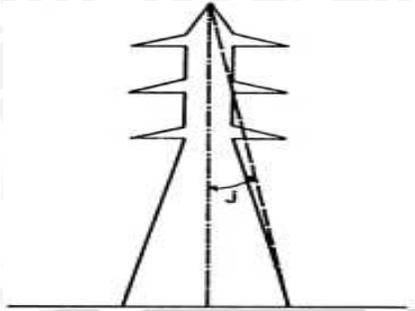
2.3.1.2.4. Konfigurasi menara

Menara yang rendah dengan penampang yang lebar mempunyai penampilan yang lebih baik dibandingkan dengan menara yang tinggi dan sempit, karena pada menara yang rendah dan lebar mempunyai impedansi surja lebih kecil.

Apabila jarak antara dua menara bertambah panjang, maka jumlah gangguan yang terjadi akan bertambah besar. Hal ini terjadi karena jalan yang ditempuh gelombang petir menuju ke tanah melalui kedua kaki di ujung-ujung menara menjadi semakin jauh.

2.3.1.2.5. Impedansi surja

Impedansi surja digunakan untuk menentukan harga tegangan di puncak menara. Menurut Sargent & Darvenisa (1969), impedansi surja menara bervariasi antara 80 – 100 ohm, dan untuk menghitung harga impedansi surja menara, diasumsikan bahwa menara didekati dengan bentuk kerucut, lihat Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Menara model kerucut Sergent & Darvenisa
Sumber: Subekti, 1989 : 26

Besarnya impedansi surja menara, dapat dihitung dengan bentuk persamaan:
(Subekti, 1989 : 27).

$$Z_t = 60 \ln(\sqrt{2/j}) \quad (2-6)$$

Dalam hal ini:

- Z_t : impedansi surja menara, ohm
- j : sinus setengah sudut kerucut menara

Sedangkan impedansi surja kawat-tanah, besarnya ditentukan oleh jumlah kawat-tanah yang digunakan pada saluran udara tegangan tinggi dan dapat dihitung dengan persamaan: (Subekti, 1989 : 27).

Untuk satu kawat-tanah:

$$Z_g = 60 \ln(2h_g/r) \quad (2-7)$$

Untuk dua kawat-tanah:

$$Z_g = 60 \ln(2h_g / \sqrt{a_{12} \cdot r}) \quad (2-8)$$

Dalam hal ini:

- Z_g : impedansi surja kawat-tanah, ohm
- h_g : tinggi rata-rata kawat-tanah, meter
- r : jari-jari kawat-tanah, meter
- a_{12} : jarak antara dua kawat-tanah, meter

2.4. Metode Penyelesaian Jumlah Sambaran Petir

2.4.1. Metode AIEE

Perhitungan cara AIEE yang disajikan oleh Komite AIEE pada tahun 1950, didasarkan karya E.L. Harder dan J.M. Clayton dan merupakan hasil penyelidikan Anacom (*Analog Computer*).

Cara ini menganggap, bahwa sambaran petir sepenuhnya pada puncak menara atau sepenuhnya di pertengahan antara dua menara, sedangkan arus sambarannya dianggap sebagai arus yang harganya tertentu (*fixed*) dan tetap (*constant*), artinya besarnya arus tidak tergantung dari impedansi bagian transmisi yang disambar petir itu.

Kurva-kurva dibuat atas dasar pengertian, bahwa petir itu ditangkal (*intercepted*) oleh kawat-tanah (sepenuhnya atau tidak ada yang mengenai penghantar), kemudian merambat disepanjang kawat-tanah, turun melalui menara dan melalui tahanan kaki-menara (*tower-footing resistance*) menuju tanah.

Dengan mengalirnya arus petir (*stroke current*) dari puncak menara, akan timbul tegangan antara (puncak) menara dengan penghantar (kawat-fasa), yaitu merupakan tegangan isolasi, adalah jumlah satuan isolator yang diperlukan bagi rentengan isolator.

Dengan mengabaikan tegangan kerja, maka besarnya tegangan ini terutama tergantung kepada: (Subekti, 1989 : 32).

1. besar dan bentuknya (gelombang) arus petir,
2. tahanan kaki-menara,
3. rentangan (span), dan
4. faktor kopling

Kurva-kurva pada Gambar 2.7 didasarkan kepada tegangan pada puncak menara (*tower-top voltage*) dan tegangan tengah-rentangan (*mid-span potential*) yang diperoleh dari hasil penyelidikan anacom.

Pada penyelidikan Anacom ini, dinyatakan suatu model dari transmisi yang dapat dianggap sebagai model umum. Konfigurasi menara standar yang tingginya 100 kaki (30 m) dan tinggi kawat-tanah rata-rata 80 kaki (24 m) mempunyai induktansi 20 mikrohenry. Selanjutnya, dibuat lagi suatu model umum untuk gelombang arus, yaitu 2 x 40 mikrodetik, yang dianggap sebagai gelombang petir, dikenakan pada puncak-menara dan tengah-rentangan. Kemudian, besarnya potensial diukur dengan mengabaikan tegangan frekuensi normal. Hasil studi ini kemudian disusun dalam Tabel 2.3 dengan waktu tunda (*time lag*) adalah waktu pada saat potensial puncak-menara berkurang oleh gelombang pantulnya.

Dengan menggunakan hasil-hasil diatas dan memperhitungkan faktor kopling, maka kekuatan isolasi yang diperlukan untuk setiap harga arus sambaran pada menara, dapat ditentukan dengan persamaan: (Subekti, 1989 : 33).

$$V_{TD} = I_s(1 - K)P \quad (2-9)$$

dengan:

V_{TID} : tegangan kekuatan isolasi (tegangan kritis lewat-denyar)

I_S : arus terkaman petir kritis yang dapat menyebabkan terjadinya lewat-denyar

P : tegangan puncak menara per ampere arus petir

K : faktor kopling antara kawat-tanah dengan kawat-fasa.

Tabel 2.3. Ikhtisar Penyelidikan ANACOM

Rentangan (kaki)	Tahanan kaki- tiang (ohm)	Tegangan puncak-tiang per ampere (arus-petir)	Tegangan tengah- rentangan per ampere (arus-petir)	Kelambatan (mikrodetik)	
				Tiang	Tengah- rentangan
600	5	14,0	65,0	2,0	2,0
	10	15,4	65,0	2,0	2,0
	20	21,5	67,5	2,0	2,0
	50	38,8	68,0	2,0	2,0
	100	64,0	72,0	2,0	2,0
800	5	14,0	86,0	2,0	2,0
	10	16,0	86,0	2,0	2,0
	20	22,0	87,5	2,0	2,0
	50	42,0	90,0	2,0	2,0
	100	72,0	92,5	2,0	2,0
1000	5	14,0	110,0	2,0	2,0
	10	17,0	110,0	2,0	2,0
	20	24,5	110,0	2,0	2,0
	50	42,0	110,0	2,0	2,0
	100	72,0	113,0	2,0	2,0
1200	5	14,0	125,0	2,0	2,0
	10	17,0	125,0	2,0	2,0
	20	24,5	125,0	2,0	2,0
	50	45,0	125,0	2,0	2,0
	100	75,0	130,0	2,4	2,0
1600	5	14,0	158,0	2,0	2,0
	10	17,0	158,0	2,0	2,0
	20	24,5	158,0	2,0	2,0
	50	45,0	158,0	3,2	2,0
	100	75,0	158,0	3,2	2,0
2000	5	14,0	167,0	2,0	2,0
	10	17,0	167,0	2,0	2,0
	20	24,5	167,0	2,0	2,0
	50	45,0	167,0	4,0	2,0
	100	75,0	167,0	4,0	2,0

Sumber: SPLN 13 : 1978

Dengan diperolehnya kuat isolasi ini, maka persyaratan isolasi (*line-insulation*), yaitu jumlah isolator yang dipergunakan dapat dicari dengan menggunakan Gambar 2.8.

Untuk sambaran petir yang mengenai pertengahan-rentangan, kekuatan isolasi ditentukan dengan cara yang sama.

Jadi, dengan cara yang diuraikan di atas, kekuatan isolasi yang diperlukan untuk puncak-menara dan pertengahan-rentangan dapat ditetapkan pada berbagai panjang rentangan dan tahanan kaki-menara sebagai parameter, kemudian disusun menjadi kurva arus sambaran petir yang diperbolehkan, seperti pada Gambar 2.7.

Apabila kurva pada Gambar 2.7 digabungkan dengan kurva kemungkinan arus petir dari Gambar 2.9, akan diperoleh kurva kemungkinan umum (*general probability curve*) seperti juga pada Gambar 2.7.

Pada kurva Gambar 2.7, sambaran petir yang mengenai menara dihitung berdasarkan harga faktor kopling dari kawat-tanah dengan tinggi 100 kaki dan berjarak 30 kaki dari kawat penghantar terjauh, artinya kawat-fasa yang memperoleh tegangan imbas terbesar karena faktor koplingnya paling kecil. Untuk tinggi dan jarak yang lain, maka jumlah satuan isolator harus dikoreksi dengan faktor koreksi pada Gambar 2.11. Jadi, jumlah isolator harus dikalikan dengan faktor koreksi sebelum menggunakan kurva Gambar 2.7.

Pada umumnya, tingkat pengaman di tengah-rentangan lebih tinggi dari tingkat pengaman pada puncak menara, dan dalam beberapa kasus bahkan sangat tinggi sehingga tidak ada kemungkinan terjadi lewat denyar pada tengah-span. Oleh karena itu, jika dari kurva-kurva arus sambaran petir yang diperbolehkan pada Gambar 2.7 diperoleh suatu hasil, bahwa tingkat pengaman ditengah-rentangan adalah lebih besar dari pada dua kali tingkat-pengaman pada menara, maka untuk mendapatkan kemungkinan gangguan dipergunakan kurva Gambar 2.10, yaitu dengan memasukkan harga arus sambaran yang diperbolehkan pada menara ke dalam Gambar 2.10.

Kurva-kurva kemungkinan ini, menyatakan penampilan (*performance*) suatu saluran transmisi atas dasar, seluruh sambaran petir hanya pada puncak-menara saja, atau ditengah-rentangan saja. Jadi, penampilan transmisi ditentukan dengan mengambil nilai rata-rata dari kedua kemungkinan keluar yang diperoleh kurva-kurva puncak-menara dan kurva-kurva tengah-rentangan.

Dari uraian di atas, untuk menentukan kemungkinan keluar pada saluran udara tegangan tinggi dengan cara metode AIEE dapat diperoleh dengan langkah-langkah sebagai berikut: (Sirait, 1989 : IV-40).

1. Tentukan jumlah isolator efektif yang menyatakan kekuatan isolasi saluran transmisi. Konfigurasi yang digunakan pada cara ini ialah, jarak antara kawat-tanah dengan kawat-fasa terjauh = 30 kaki, tinggi kawat-tanah dari permukaan tanah = 100 kaki. Jika konfigurasinya berbeda, perlu dilakukan koreksi yaitu dengan mengalihkan faktor koreksi yang diperoleh dari Gambar 2.11 dengan jumlah isolator yang sebenarnya.
2. Tentukan tahanan kaki-menara, bila ada pendistribusian harga, kemungkinan-keluar (gangguan) ditentukan untuk masing-masing persentase distribusi agar diperoleh peninjauan yang berbeda-beda.
3. Untuk tiap-tiap distribusi tahanan kaki-menara, gunakan kurva-kurva estimasi untuk menara dengan jumlah isolator setelah dikoreksi, dan tentukan kemungkinan keluar pada menara, yaitu $GTR_1, GTR_2, GTR_3, \dots, GTR_n$, harga GTR ini diperoleh dari kurva-kurva Gambar 3.1. a – f. Untuk harga tahanan kaki-menara yang rendah, pembacaan kemungkinan keluar agak sulit, untuk itu baca harga arus sambaran petir yang diijinkan kemudian harga GTR ditentukan dengan menggunakan kurva Gambar 2.9.
4. tentukan kemungkinan keluar pada pertengahan-rentangan (GM) untuk masing-masing panjang rentangan menggunakan kurva Gambar 2.8. g-h. jika arus sambaran petir yang diperbolehkan pada pertengahan-rentangan (I_m) melebihi dua kali arus yang diperbolehkan pada menara (I_t), maka kemungkinan keluar ditentukan dengan kurva Gambar 2.10.
5. Tentukan harga rata-rata GTR dan GM, dengan memperhatikan distribusi tahanan kaki-menara. Untuk mendapatkan kemungkinan keluar adalah dengan menjumlahkan seluruh harga rata-rata diatas.
6. Kurva-kurva yang ada berdasarkan $IKL = 30$, maka untuk harga IKL yang lain, jumlah lewat-denyar diatas 5 harus dikalikan dengan faktor $IKL/30$.
7. Bagi menara besi yang panjang hantarnya kurang dari 100 mil, maka jumlah gangguan rata-rata harus dikalikan dengan faktor 0,85.
8. Untuk mendapatkan jumlah gangguan rata-rata yang dinyatakan dengan gangguan/100 mil/tahun, hasil diatas harus dikalikan dengan faktor $1/1,61$.

Untuk perhitungan pada sistem transmisi dengan dua kawat-tanah, dianggap bahwa kawat-tanah tersebut terletak di tengah-tengahnya sehingga jarak antara kawat-tanah dengan kawat-fasa dinyatakan dengan persamaan:

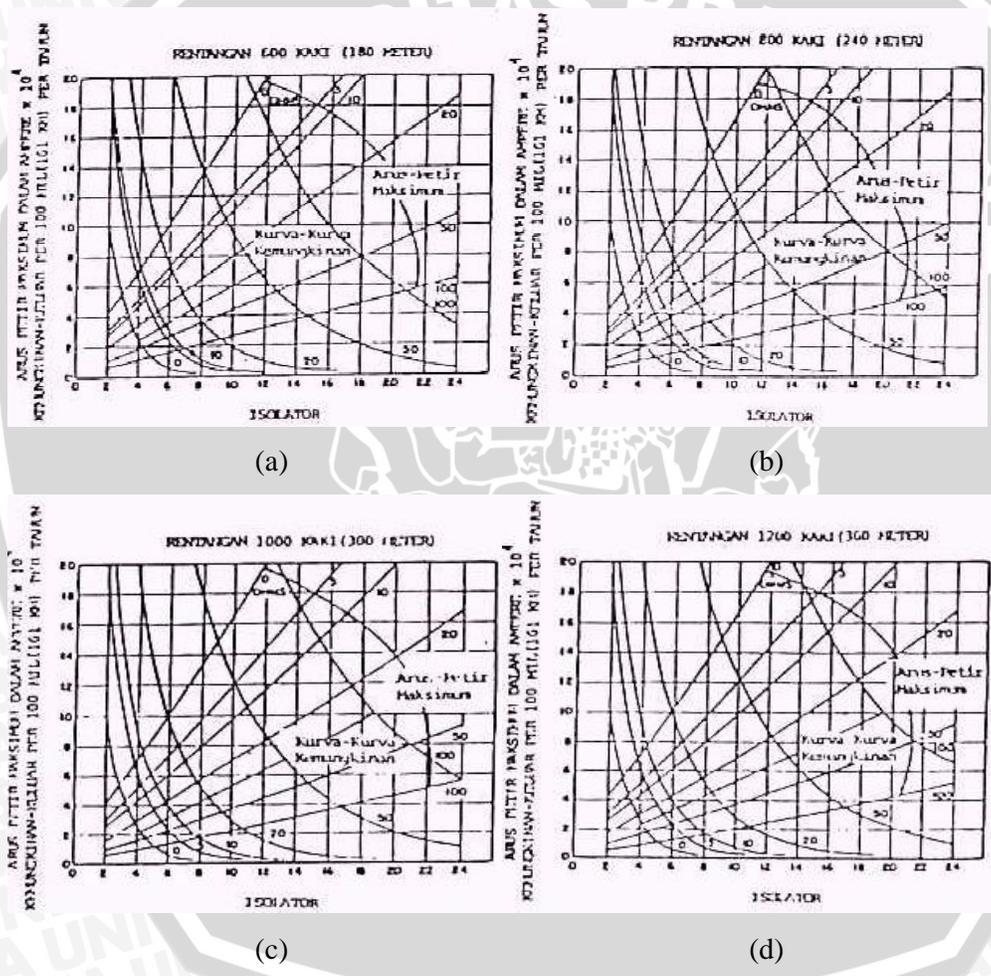
$$a_{eq} = \sqrt{a_{13} + a_{23}} \tag{2-10}$$

Dalam hal ini:

a_{13} : jarak antara kawat-tanah 1 dengan kawat-fasa 3

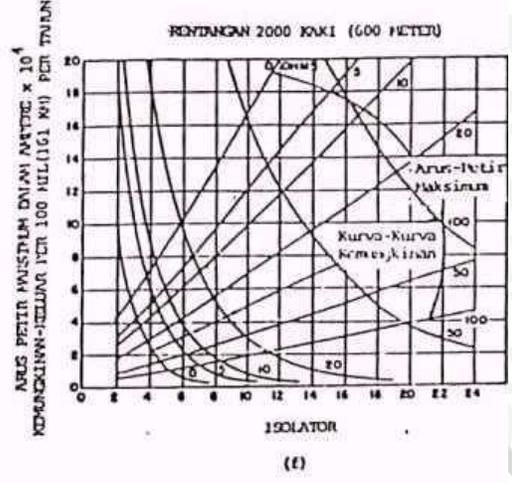
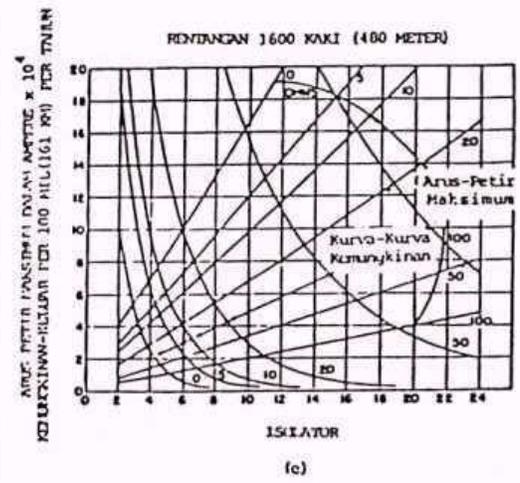
a_{23} : jarak antara kawat-tanah 2 dengan kawat-fasa 3

Akhirnya, untuk mendapatkan jumlah gangguan total pada saluran transmisi akibat sambaran langsung petir, maka hasil perhitungan gangguan pada kawat-tanah harus ditambahkan dengan jumlah gangguan akibat kegagalan perlindungan kawat-tanah atau gangguan pada kawat-fasa.

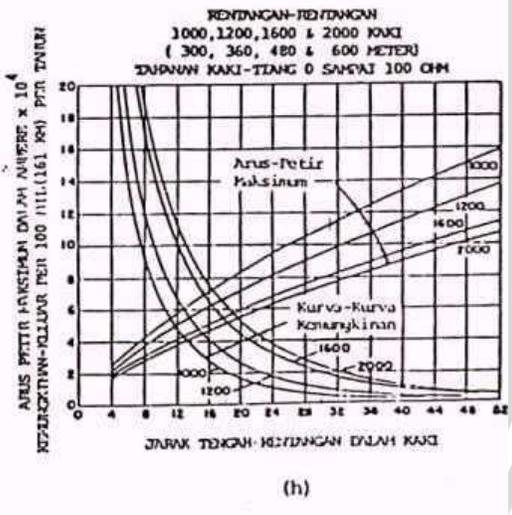
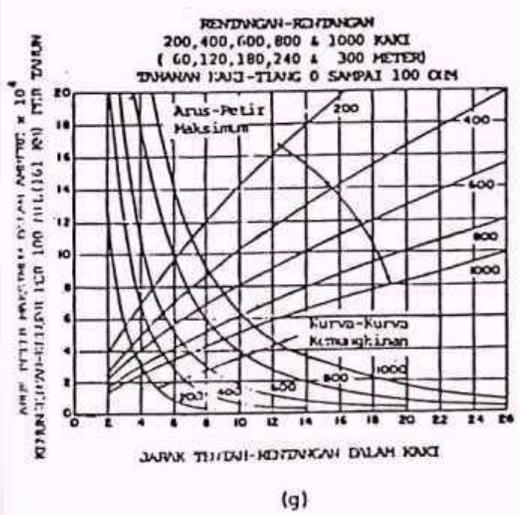


Gambar 2.7 Kurva untuk memperkirakan isolasi-len dan gelagatnya, didasarkan pada isolator standar 10 x 5 3/4 atau yang ekuivalen dan tingkat hari guruh 30. Angka-angka dalam kurva-kurva (a) sampai (f) menunjukkan tahanan kaki-tiang, sedang dalam (g) dan (h) rentangan. Sumber: SPLN 13 : 1978.

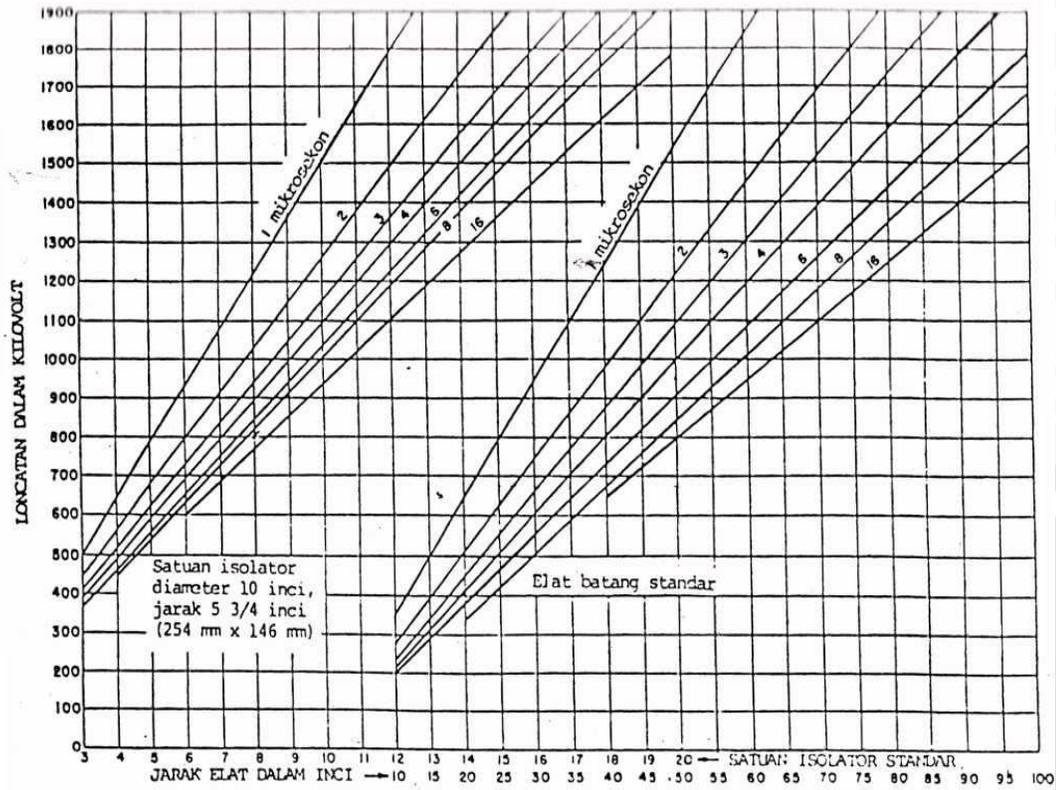
LONCATAN-TIANG
(lanjutan)



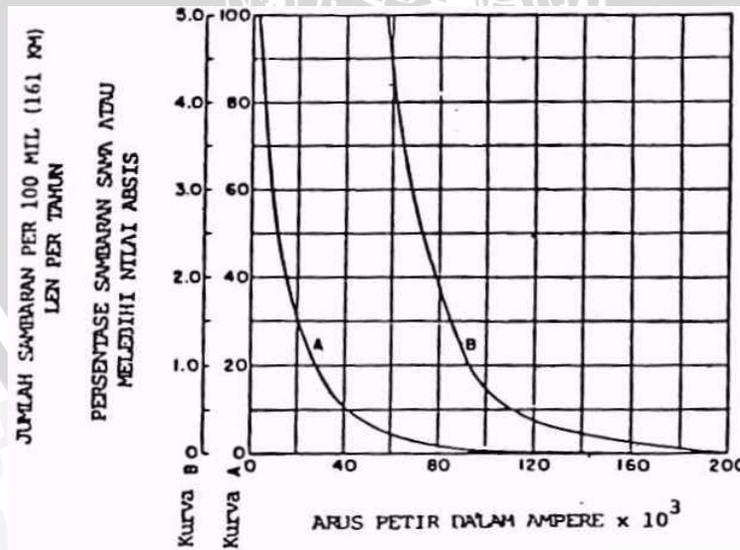
LONCATAN-TENGAH-RENTANGAN
(Midspan Flashovers)



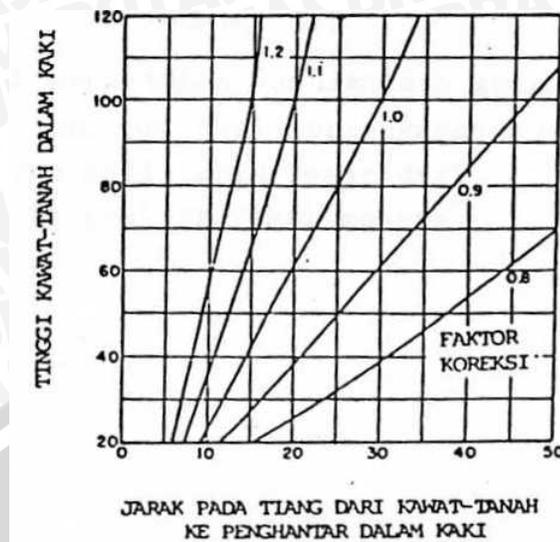
Gambar 2.8 –(Lanjutan)
Sumber: SPLN 13 : 1978.



Gambar 2.9 Karakteristik isolator dan elat, semua nilai didasarkan kepada gelombang 1,5 x 40 μ s positif dan telah dikoreksi pada keadaan atmosfer standar.
 Sumber: SPLN 13 : 1978.



Gambar 2.10 Kurva kemungkinan arus petir, sambaran per 100 mil per tahun pada tingkat hari-guruh 30
 Sumber: Sirait, 1989 : IV-30



Gambar 2.11 Faktor koreksi untuk tinggi kawat-tanah dan jarak kawat-tanah dengan penghantar pada tiang

Sumber: Sirait, 1989 : IV-34

2.4.2. Metode Gelombang-berjalan

Pada metode ini, dianggap bahwa sambaran petir dapat mengenai menara, seperempat-rentangan, dan setengah-rentangan. Menurut Anderson, perbandingan jumlah sambaran petir tersebut berturut-turut adalah 60%, 30%, dan 10%.

Gangguan petir pada menara dihitung dengan metode gelombang-berjalan, sedangkan gangguan petir pada seperempat-rentangan dan setengah-rentangan dihitung dengan metode AIEE.

Seperti halnya metode AIEE, metode gelombang-berjalan tidak memperhitungkan tegangan kerja. Perhitungan metode ini berdasarkan teori dari gelombang-berjalan, dengan memakai beberapa pendekatan, antara lain: (Sirait, 1989 : IV-49).

1. Gelombang refleksi negatif yang datang dari dasar menara terlebih dahulu akan memperkecil gelombang kawat-fasa paling bawah, oleh karena itu hampir semua lewat-denyar terjadi pada kawat-fasa paling atas.
2. Gelombang surja dicirikan dengan amplitude dan waktu puncak saja, sedangkan waktu eror tidak diperhatikan.
3. Selama menjalar pada saluran transmisi, gelombangnya dianggap tetap atau tidak mengalami distorsi gelombang.

2.4.2.1. Gangguan petir pada menara

Apabila petir menyambar kawat-tanah, pada puncak menara akan terjadi refleksi dan transmisi dari gelombang-gelombang yang datang dari dasar menara, serta refleksi gelombang-gelombang yang datang dari puncak menara, sehingga tegangan lebih yang timbul dapat dihitung dengan diagram tangga.

Adapun langkah-langkah perhitungan dengan metode gelombang-berjalan adalah sebagai berikut:

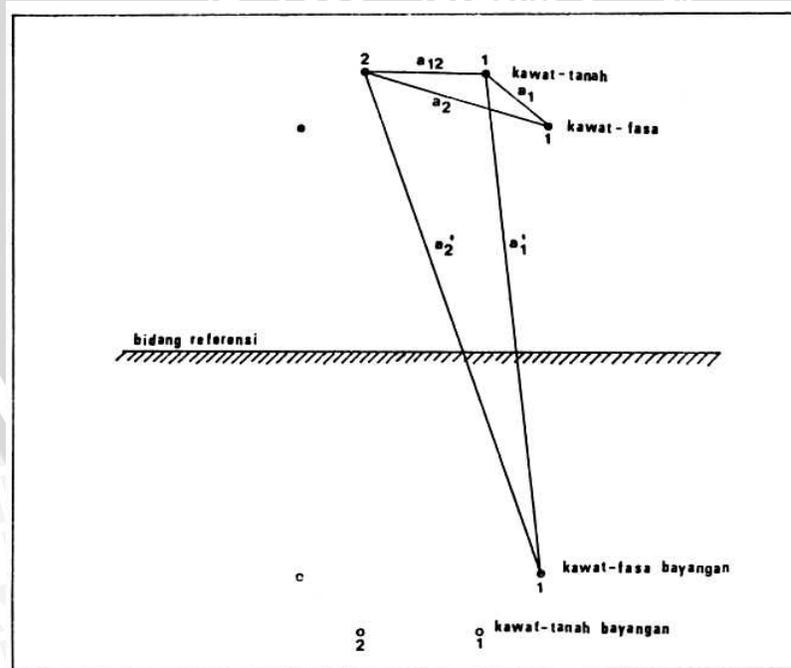
1. Hitung faktor kopling K, untuk saluran yang tersusun secara vertikal, adalah antara kawat-tanah dengan kawat-fasa paling atas, sedang yang horizontal antara kawat-tanah dengan kawat-fasa paling pinggir, lihat Gambar 2.12.

Untuk satu kawat-tanah:

$$K = \frac{\ln(a_1'/a_1)}{\ln(2h_g/r)} \tag{2-11}$$

Untuk dua kawat-tanah:

$$K = \frac{\ln \sqrt{(a_1' \cdot a_2')/(a_1 \cdot a_2)}}{\ln(2h_g/\sqrt{a_{12} \cdot r})} \tag{2-12}$$



Gambar 2.12 Konfigurasi saluran transmisi dan kawat bayangan
 Sumber: Sirait, 1989: IV-51

Dalam hal ini:

- a_1 : jarak antara kawat-tanah 1 dengan kawat-fasa 1, meter
 a_2 : jarak antara kawat-tanah 2 dengan kawat-fasa 1, meter
 a_1' : jarak antara kawat-tanah 1 dengan kawat-fasa bayangan 1, meter
 a_2' : jarak antara kawat-tanah 2 dengan kawat-fasa bayangan 1, meter
 h_g : tinggi rata-rata kawat-tanah, meter
 r : jari-jari kawat-tanah, meter
 a_{12} : jarak antara kawat-tanah 1 dengan kawat-tanah 2, meter

Tinggi rata-rata kawat-tanah h_g , ialah tinggi kawat-tanah pada menara h_t dikurangi dua pertiga dari lendutan atau d_0 , adalah:

$$h_g = h_t - \frac{2}{3}d_0 \quad (2-13)$$

2. Hitung impedansi surja kawat-tanah Z_g , dengan rumus:

untuk satu kawat-tanah:

$$Z_g = 60 \ln(2h_g/r) \quad (2-14)$$

untuk dua kawat-tanah:

$$Z_g = 60 \ln(2h_g/\sqrt{a_{12} \cdot r}) \quad (2-15)$$

3. Hitung impedansi surja menara Z_t , menurut M.A. Sargent & Darvenisa, untuk sirkit ganda lebih baik digunakan rumus berikut:

$$Z_t = 60 \ln(\sqrt{2}/j) \quad (2-16)$$

Dalam hal ini:

j : sinus setengah sudut kerucut

4. Hitung koefisien transmisi a , pada puncak menara untuk gelombang-gelombang yang datang dari dasar menara:

$$a = \frac{2Z_g}{Z_g + 2Z_t} \quad (2-17)$$

5. Hitung koefisien refleksi b , pada puncak menara untuk gelombang-gelombang yang datang dari dasar menara:

$$b = a - 1 \quad (2-18)$$

6. Hitung tegangan pada puncak menara e , dengan rumus:

$$e = \frac{Z_g \cdot Z_t}{Z_g + 2Z_t} I_s \text{ kV} \quad (2-19)$$

Dalam hal ini :

$$I_s = I_o \cdot t \quad \text{kA, untuk } 0 \leq t \leq T$$

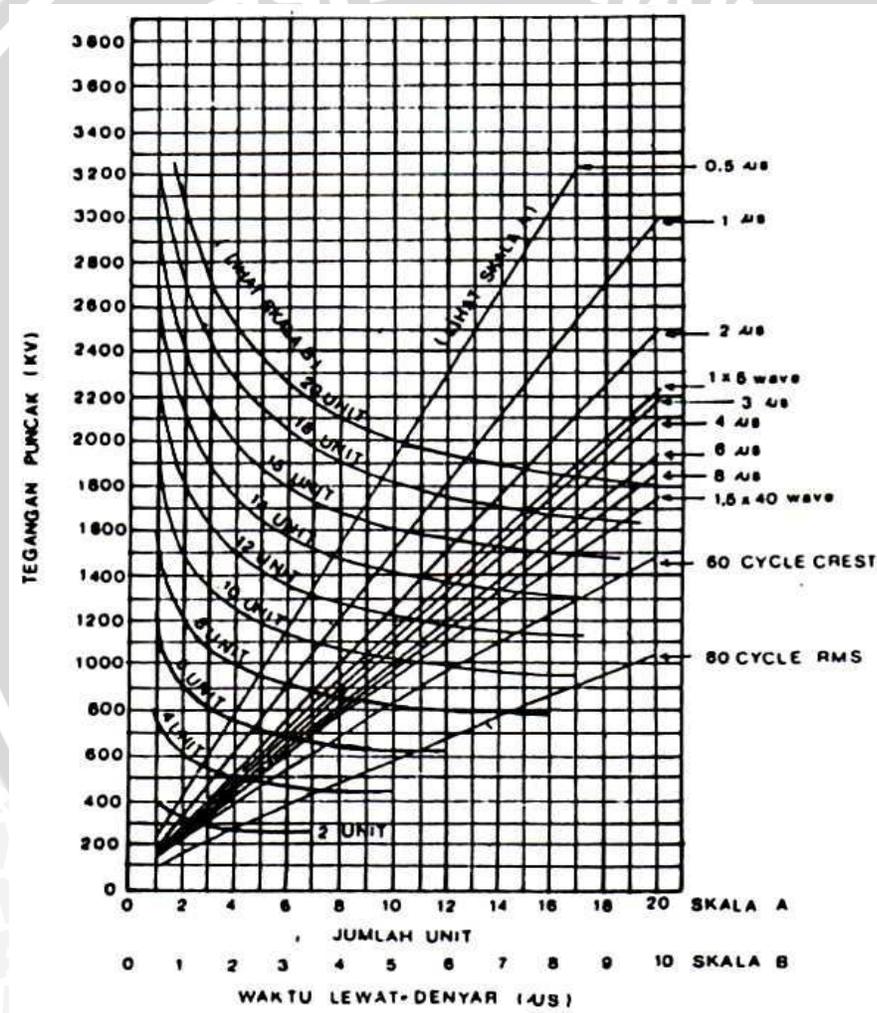
$$I_s = I_o \quad \text{kA, untuk } t \geq T$$

I_o : harga puncak arus petir yang melalui menara, dalam kA

T : waktu untuk mencapai harga puncak atau panjang muka gelombang petir, dalam mikrodetik

I_s : arus petir, dalam kA

- Pilih harga tahanan kaki menara R_f , dan hitung koefisien refleksi d , pada dasar menara untuk gelombang-gelombang yang datang dari puncak menara:



Gambar 2.13 Kurva untuk menentukan TID (Tingkat Isolasi Dasar) dari Isolator-isolator yang dipergunakan

Sumber: Subekti 1989 : 59

$$d = \frac{R_f - Z_t}{R_f + Z_t}$$

(2-20)

Dalam hal ini:

R_f : tahanan kaki menara, dalam ohm

Bila tahanan tanah R_f , berbeda-beda maka perhitungan harus dilakukan untuk setiap harga R_f atau dengan pendekatan dapat diambil harga rata-rata dari R_f .

8. Pilih salah satu harga muka gelombang T, dari Tabel 2.2, dan hitung waktu kritik t_c , yaitu waktu pada saat tegangan pada puncak menara berkurang secara tiba-tiba, sebagai akibat gelombang refleksi negatif yang datang dari dasar menara:

$$t_c = T + x_1/c \quad \text{mikrodetik} \quad (2-21)$$

(2-21)

Dalam hal ini:

x_1 : jarak vertikal antara puncak menara dengan kawat fasa pada menara, dalam meter

c : kecepatan cahaya, adalah $= 3 \times 10^8$ m/detik.

9. Pilih salah satu harga arus petir I_s , dari Tabel 2.1, dan hitung tegangan pada isolator V_i . Dengan syarat:

$$(t_c - x_1) > 0$$

$$\left(t_c - \frac{2h_t \pm x_1}{c} \right) > 0$$

$$\left(t_c - \frac{4h_t \pm x_1}{c} \right) > 0, \text{ dan seterusnya}$$

Maka tegangan pada isolator adalah:

$$\begin{aligned} V_i = & e_0(1-k) \cdot (t_c - x_1/c) + d \cdot e_0 \left(t_c - \frac{2h_t - x_1}{c} \right) + d \cdot e_0(b - Ka) \cdot \left(t_c - \frac{2h_t + x_1}{c} \right) + \\ & d^2 \cdot b \cdot e_0 \left(b - \frac{4h_t - x_1}{c} \right) + d^2 \cdot b \cdot e_0(b - Ka) \cdot \left(t_c - \frac{4h_t + x_1}{c} \right) + d^3 \cdot b^2 \cdot e_0 \left(t_c - \frac{6h_t - x_1}{c} \right) + \\ & d^3 \cdot b^2 \cdot e_0(b - Ka) \cdot \left(t_c - \frac{6h_t + x_1}{c} \right) + \dots \end{aligned} \quad (2-22)$$

Karena b sangat kecil, maka b^2 sangat kecil juga, jadi suku ke-6 dan suku selanjutnya dapat diabaikan.

Harga e_0 adalah:

$$e_0 = \frac{Z_g \cdot Z_t}{Z_g + 2Z_t} \cdot I_0 \quad (2-23)$$

10. Bandingkan harga V_i yang diperoleh dari langkah 9 dengan BIL (*Basic Insulation Level*) dari isolator yang digunakan, bila BIL isolator lebih besar dari V_i , tidak terjadi gangguan dan bila BIL isolator lebih kecil dari harga V_i maka akan terjadi gangguan, lihat Gambar 2.13.
11. Oleh karena besarnya arus petir, bentuk gelombangnya dan seringnya terjadi dianggap seperti harga-harga pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2, maka besarnya V_i harus dihitung untuk semua harga-harga pada tabel tersebut, setelah itu hitung jumlah persentase kemungkinan terjadinya lewat-denyar P ; bila tahanan kaki-menara terdistribusi, maka setiap hasil persentase diatas harus dikalikan dengan persentase distribusi tahanan kaki-menara.
12. Hitung luas daerah yang dilindungi kawat-tanah A , untuk tiap span S , dengan rumus Hagenguth seperti pada persamaan (2-5).
13. Hitung kepadatan petir D , menurut persamaan (2-3).
14. Hitung jumlah sambaran petir yang terjadi L , menurut persamaan (2-4).
15. Hitung jumlah gangguan petir pada menara, GT ;

$$\begin{aligned} GT &= 60\% \times L \times P \\ &= 60\% \times \left(100 \times \frac{1000}{s} \times A \times D \right) \times P \text{ gangguan per 100 km per tahun} \end{aligned} \quad (2-24)$$

2.4.2.2. Gangguan petir pada seperempat dan setengah-rentangan

Untuk menghitung jumlah gangguan petir pada seperempat-rentangan dan setengah-rentangan dipakai metode AIEE, yaitu jarak vertikal antara kawat-tanah dengan kawat-fasa diperoleh dengan memisalkan lengkung kawat itu memenuhi persamaan parabola, seperti terlihat pada Gambar 2.14. Jadi, apabila:

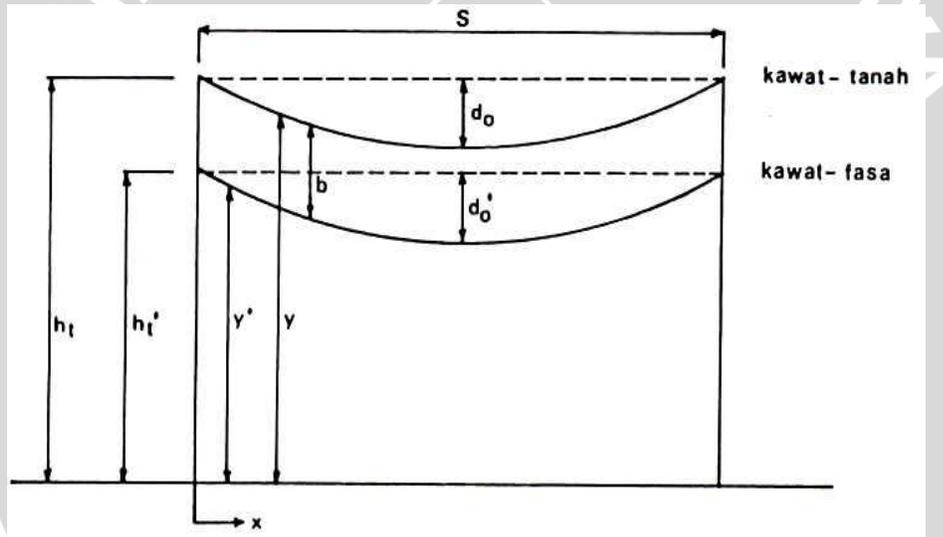
- y : tinggi kawat-tanah diatas tanah, meter
- y' : tinggi kawat-fasa diatas tanah, meter
- d_0' : lendutan maksimum kawat-fasa, meter
- d_0 : lendutan maksimum kawat-tanah, meter
- b : jarak vertikal antara kawat-tanah dengan kawat-fasa, meter

- b_m : jarak vertikal antara kawat-tanah dengan kawat-fasa pada pertengahan-span, meter
- b_q : jarak vertikal antara kawat-tanah dengan kawat-fasa pada seperempat-span, meter
- S : panjang span rata-rata, meter
- h_t' : tinggi kawat-tanah di menara, meter
- h_t : tinggi kawat-fasa di menara, meter
- p : jarak horizontal antara kawat-tanah dengan kawat-fasa, meter.

Maka:

$$y = h_t - \frac{d_0 \cdot x^2}{(S/2)^2} \tag{2-25}$$

$$y' = h_t' - \frac{d_0' \cdot x^2}{(S/2)^2} \tag{2-26}$$



Gambar 2.14 Lengkungan kawat-tanah dan kawat-fasa
Sumber: Sirait, 1989 : IV-58

$$b = y - y' \tag{2-27}$$

$$b_q = \left(h_t - \frac{d_0}{4} \right) - \left(h_t' - \frac{d_0'}{4} \right) \tag{2-28}$$

$$b_m = (h_t - d_0) - (h_t' - d_0') \tag{2-29}$$

Jarak antara kawat-tanah dengan kawat-fasa pada seperempat-span, adalah:

$$d_q = \sqrt{b_q^2 + p^2} \tag{2-30}$$

Jarak antara kawat-tanah dengan kawat-fasa pada setengah-span, adalah:

$$d_m = \sqrt{b_m^2 + p^2} \tag{2-31}$$

Jarak-jarak d_q dan d_m akan menentukan jumlah gangguan pada seperempat-span dan setengah-span, yaitu dengan melihat kurva-kurva pada Gambar 2.7 dan 2.8 i-j.

Jumlah gangguan yang diperoleh harus dikalikan dengan 30 % untuk gangguan pada seperempat-span GQ, dan dengan 10 % untuk gangguan pada setengah-span GM.

Untuk menara yang terbuat dari besi, dan panjangnya saluran transmisi, maka jumlah gangguan pada kawat-tanah harus ditambahkan dengan jumlah gangguan yang terjadi pada kawat-fasa.

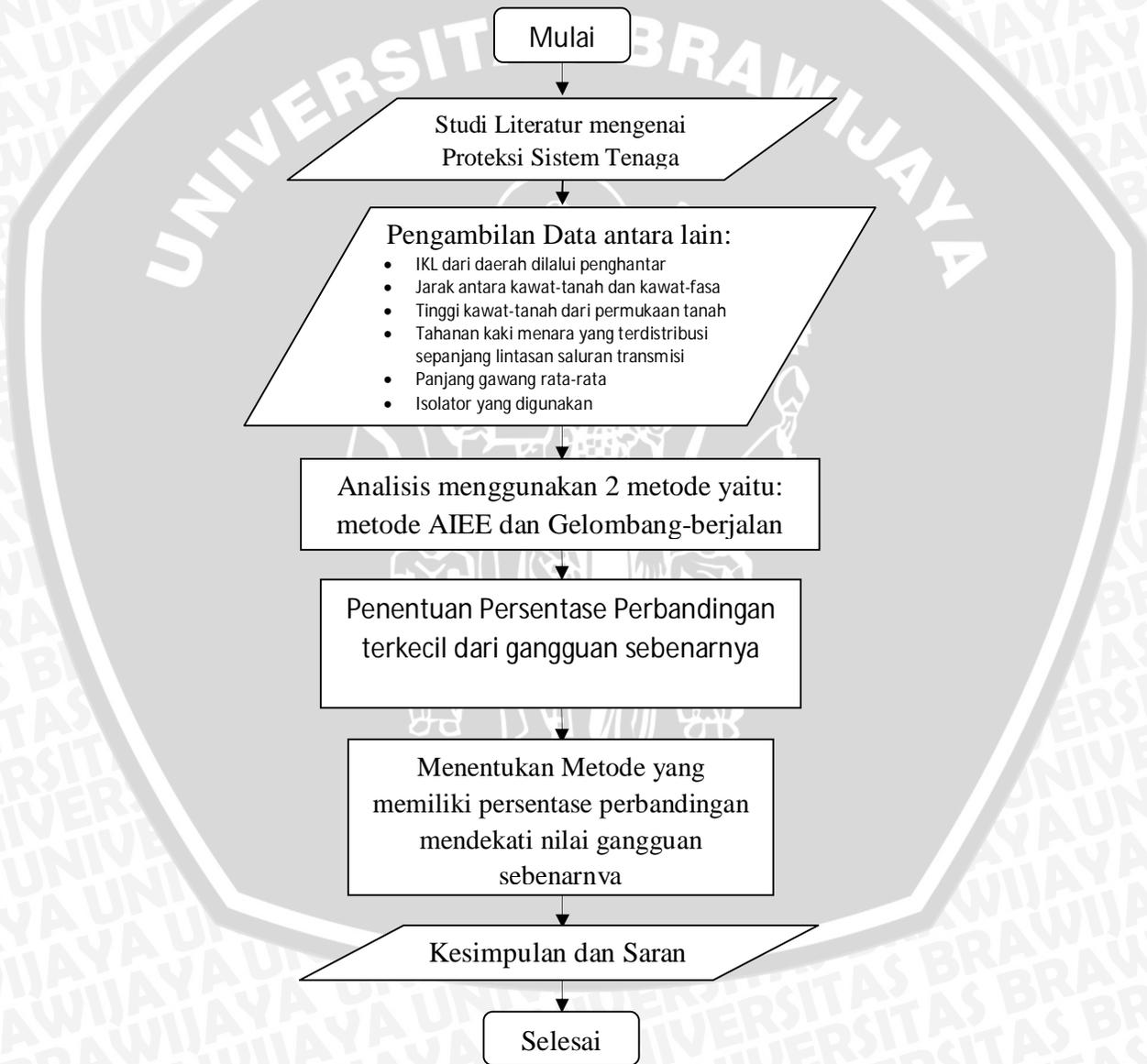
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III
METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Agar dapat menjawab rumusan masalah dan tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan skripsi ini perlu disusun suatu metode penelitian yang digunakan sebagai acuan atau kerangka penyelesaian masalah dalam skripsi ini. Diagram alur ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.2. Studi Literatur

Studi literatur yang dibutuhkan untuk penyelesaian skripsi ini antara lain sebagai berikut:

1. Mempelajari literatur yang berhubungan dengan transmisi dan proteksi tegangan tinggi.
2. Metode AIEE.
3. Metode gelombang berjalan.
4. Analisis perbandingan metode AIEE dengan gelombang berjalan.

3.3. Survei Lapangan dan Pengambilan Data

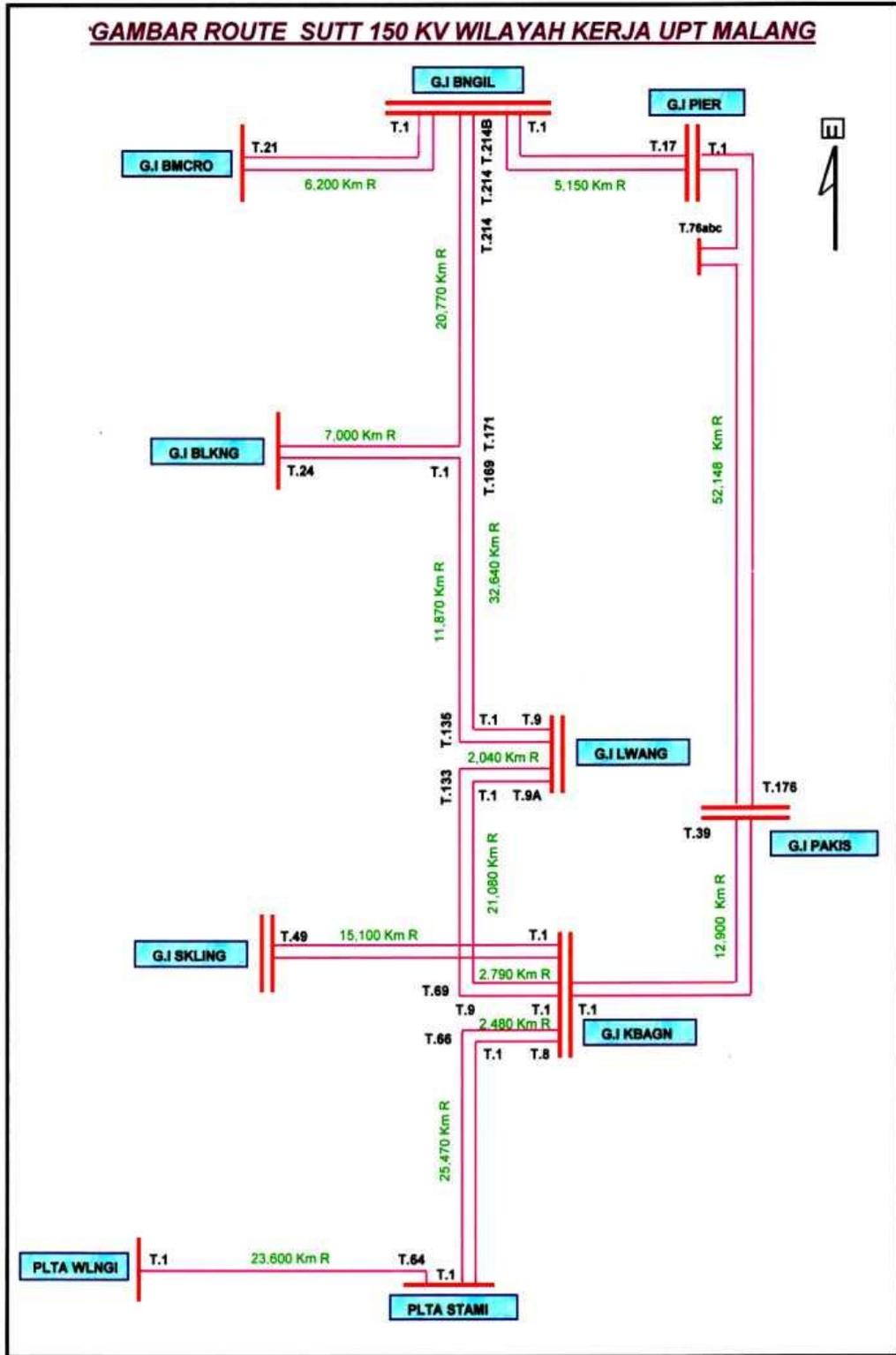
Dalam skripsi ini membahas tentang sambaran langsung petir terhadap saluran udara tegangan tinggi 150 kV, sehingga dibutuhkan suatu perencanaan lokasi studi yang nantinya akan diperoleh sebuah data penunjang untuk membahas dalam sebuah analisis metode perilaku petir. Dan tempat yang telah ditetapkan dalam pembahasan skripsi ini adalah wilayah kerja UPT Malang.

Dimana data yang diperlukan adalah :

1. Konstruksi tower GI Sengkaling dan GI Kebon Agung (terlampir)
2. Data tahanan kaki tower dari GI Sengkaling-GI Kebon Agung (terlampir)
3. Catatan transmisi lepas pada gangguan (terlampir)
4. Single diagram wilayah kerja UPT Malang
5. Data hari guntur wilayah kota Malang (BMKG Karangates)

Untuk lebih menyederhanakan kembali lokasi yang ditinjau juga pembahasannya, penulis mengolah data gangguan dari saluran transmisi 150kV GI Sengkaling – GI Kebon Agung sebagai dasar acuan analisis.

Diagram SUTT 150 kV untuk wilayah kerja UPT Malang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram SUTT Wilayah UPT Malang
Sumber: UPT Malang 2011: 44

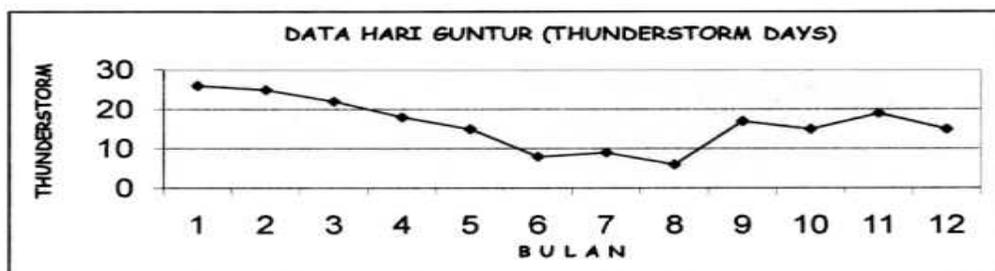
Sebagai penunjang lainnya, pada skripsi ini dibutuhkan data curah hujan untuk mengetahui jumlah sambaran per tahun nya. Dan data ini hanya dapat diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi Dan Geofisika (BMKG Karangates). Data curah hujan ini ditunjukkan pada Gambar 3.3.

**DATA HARI GUNTUR (THUNDERSTORM DAYS)
STASIUN GEOFISIKA KARANGKATES-MALANG**

TAHUN : 2010

TGL	B U L A N												KET
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	
1	x	x	0	x	x	0	0	0	0	0	x	x	
2	x	0	0	x	x	0	0	0	0	x	0	x	
3	x	0	0	0	x	0	0	0	0	0	x	x	
4	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	x	x	
5	x	x	x	x	x	0	0	0	x	0	x	x	
6	x	x	x	x	0	0	0	0	x	0	x	x	
7	x	x	x	x	x	x	0	0	x	0	x	x	
8	x	x	x	x	x	x	0	0	x	0	x	0	
9	x	x	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x	
10	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	
11	x	x	x	x	x	0	x	0	x	0	0	0	
12	x	x	0	x	0	x	x	0	0	0	0	x	
13	x	x	0	0	x	x	x	0	x	0	0	0	
14	x	x	0	0	0	x	0	0	0	0	x	0	
15	x	0	x	0	x	x	x	0	x	0	x	x	
16	x	x	x	x	0	x	x	0	x	x	0	x	
17	x	x	x	0	0	0	0	0	x	x	0	x	
18	x	x	x	0	x	0	0	0	x	0	0	0	
19	x	x	x	0	0	0	0	0	x	0	0	x	
20	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	
21	x	x	x	0	0	0	0	x	x	x	x	0	
22	x	x	x	0	0	0	0	x	x	x	0	0	
23	0	x	0	x	x	0	0	x	x	x	x	0	
24	0	x	0	x	0	0	0	x	x	x	x	0	
25	x	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x	0	
26	x	x	x	0	0	0	0	0	0	x	x	0	
27	0	x	x	x	0	0	x	0	0	x	x	0	
28	0	x	x	x	0	0	x	0	0	x	x	0	
29	x		x	0	x	0	x	0	0	x	x	0	
30	x		x	x	0	0	0	x	0	x	x	0	
31	0		x		0		0	0		x		x	
JML	26	25	22	18	15	8	9	6	17	15	19	15	

Keterangan : (x) ada satu atau lebih thunderstorm
(0) tidak ada thunderstorm
() tidak ada pengamatan



Tabel 3.1 Data hari guntur (*thunderstorm days*)
Sumber: BMKG Karangates 9 Juli 2011

3.4. Analisis dan Pembahasan

Setelah data terkumpul akan dilakukan analisis terhadap jumlah sambaran langsung petir dengan menggunakan metode pendekatan AIEE dan Gelombang-berjalan:

1. Analisis jumlah sambaran petir langsung pada SUTT 150 kV GI Karangates – GI Kebon Agung dengan menggunakan metode AIEE.
2. Analisis jumlah sambaran petir langsung pada SUTT 150 kV GI Karangates – GI Kebon Agung dengan menggunakan metode Gelombang-berjalan.
3. Membandingkan kedua metode pendekatan AIEE dengan Gelombang-berjalan dan kemudian menentukan faktor koreksi yang terkecil dari nilai gangguan yang sebenarnya.
4. Menentukan metode pendekatan yang sesuai dan memiliki faktor koreksi terkecil dari nilai gangguan sebenarnya.

3.5. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisis dan pembahasan ditarik suatu kesimpulan yang merupakan intisari dari penelitian ini dan disertakan pula saran dari penulis untuk pengembangan penelitian ke depan yang terkait dengan permasalahan ini.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Distribusi Tahanan Kaki Menara dan Kepadatan Sambaran

Petir

4.1.1. Distribusi tahanan kaki menara 150 kV GI Sengkaling – GI Kebonagung

Untuk mendapatkan nilai distribusi tahanan kaki menara maka dibutuhkan suatu data yg diperoleh dari instansi terkait yang dalam bentuk hasil pengukuran tahanan tanah pada kaki tower. Kemudian dari tabel hasil pengukuran tersebut di sederhanakan menjadi 3 bagian sesuai batas yang akan ditentukan dan diberi persentase pada masing-masing nilai tahanan kaki. Lebih lanjutnya, hasil pengukuran tahanan kaki tower dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Tahanan Kaki Tower 150 kV GI Sengkaling – GI Kebonagung

No Tower	Tahanan Kaki Tower (Ω)		
		25	1,81
		26	1,56
1	0,19	27	2,15
2	0,38	28	2,79
3	1,89	29	1,88
4	1,93	30	2,05
5	1,37	31	1,01
6	1,54	32	2,58
7	1,4	33	1,96
8	1,27	34	1,94
9	0,9	35	2,1
10	1,91	36	1,67
11	2,41	37	2,09
12	1,36	38	1,77
13	0,9	39	2,12
14	1,12	40	0,96
15	1,2	41	1,97
16	1,32	42	2,67
17	1,54	43	1,56
18	0,96	44	1,48
19	1,34	45	1,90
20	2,6	46	1,70
21	1,65	47	3,66
22	1,6	48	0,66
23	1,48	49	0,23
24	2,8		

Sumber : GI Sengkaling – GI Kebonagung 2 s/d 5 Agustus 2010

Langkah berikutnya adalah:

1. membagi 3 bagian dengan selisih nilai yang telah ditentukan.

Tabel 4.2 Nilai Tahanan kaki tower yang telah dibagi menjadi 3 bagian

Nilai Tahanan (Ω)	Pada No. Tower	Jumlah	
		Banyak	Persentase (%)
0,19 – 0,96	1, 2, 9, 13, 18, 40, 48, 49	8	16,33
1 – 1,8	5, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 26, 31, 36, 38, 43, 44, 46	20	40,82
1,8 – 3,66	3, 4, 10, 11, 20, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 37, 39, 41, 42, 45, 47,	21	42,86

Keterangan:

Jumlah tower dalam persen didasarkan atas banyaknya nilai tahanan rata-rata pada jumlah tower yang dianalisis.

2. Persentase rata-rata nilai tahanan yang telah dibagi menjadi 3 bagian

$$0,19 - 0,96 = \frac{8}{49} \times 100\% = 16,33\%$$

$$1,00 - 1,80 = \frac{20}{49} \times 100\% = 40,82\%$$

$$1,80 - 3,66 = \frac{21}{49} \times 100\% = 42,86\%$$

3. Hitung nilai Tahanan Kaki rata-rata; R_{f1} , R_{f2} dan R_{f3} :

$$R_{f1} = \frac{0,19+0,38+0,9+0,9+0,96+0,96+0,66+0,23}{8} = 0,6475\Omega$$

$$R_{f2} = \frac{1,37+1,54+1,4+1,27+1,36+1,12+1,2+1,32+1,54+1,34+1,65+1,6+1,48+1,56+1,01+1,67+1,77+1,56+1,48+1,7}{20} = 1,447\Omega$$

$$R_{f3} = \frac{1,89+1,93+1,91+2,41+2,6+1,81+2,15+2,79+1,88+2,05+2,58+1,96+1,94+2,1+2,09+2,12+1,97+2,67+1,9+3,66+2,8}{21} = 2,25\Omega$$

Dari hasil perhitungan nilai tahanan kaki tower rata-rata diatas, maka diperoleh distribusi tahanan kaki menara, R_{fn} :

$$R_{f1} = 0,6475 \Omega, \quad \text{sebanyak } 16,33 \%$$

$$R_{f2} = 1,447 \Omega, \quad \text{sebanyak } 40,82 \%$$

$$R_{f3} = 2,25 \Omega, \quad \text{sebanyak } 42,86 \%$$

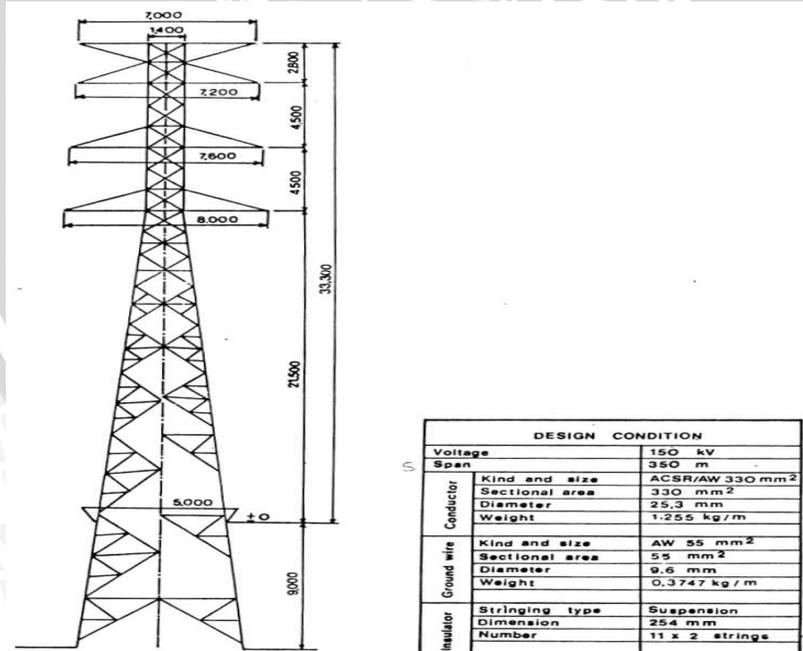
4.1.2. Menentukan kepadatan sambaran petir

Untuk menentukan jumlah sambaran petir, harus diketahui tingkat hari guruh atau Isokeraunik Level (IKL) pada suatu daerah. Jumlah hari guruh ini digunakan untuk menentukan kepadatan sambaran petir/m²/tahun, sesuai dengan persamaan (2-3), (2-4) dan (2-5):

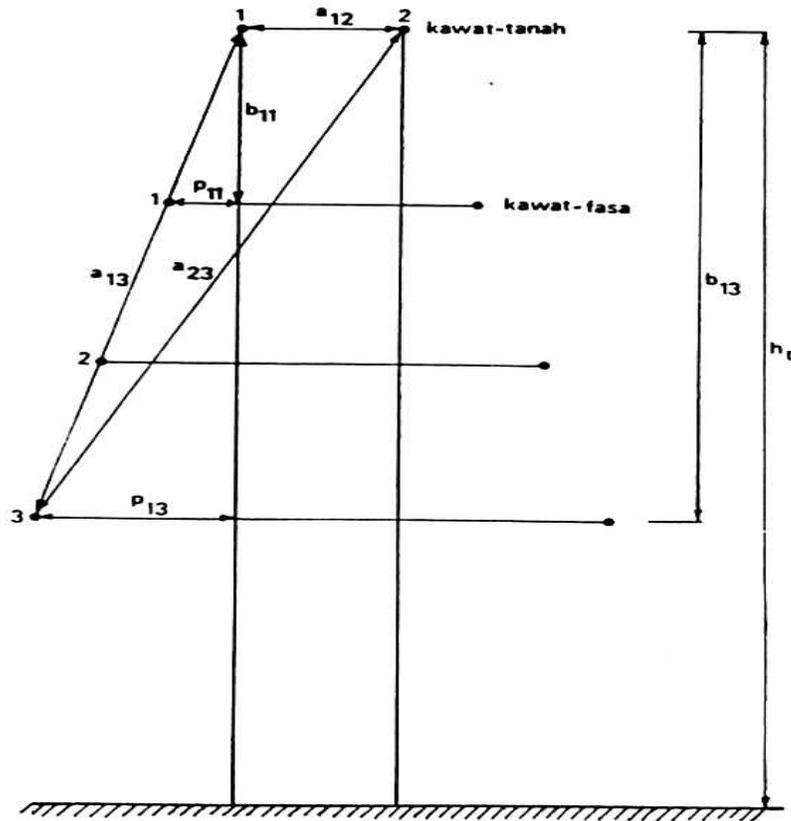
$$\begin{aligned}
 D &= 8,875 \times 10^{-8} \times IKL \text{ petir/m}^2/\text{tahun} \\
 &= 8,875 \times 10^{-8} \times 195 = 1,7306 \cdot 10^{-5} \text{ petir/m}^2/\text{tahun} \\
 A &= (2\pi + 1)h_t^2 + 4h_g(s - h_t) \text{ m}^2 \\
 &= (2\pi + 1) \cdot 33,3^2 + 4 \cdot 28,3 \cdot (350 - 33,3) = 43,923,1592 \text{ m}^2 \\
 L &= 100 \times \frac{1000}{s} \times A \times D \text{ petir/100 km/tahun} \\
 &= 100 \times \frac{1000}{350} \times 43923,1592 \times 1,7306 \cdot 10^{-5} \\
 &= 217,1812 \text{ petir/100 km/tahun} = 349,66 \text{ petir/161 km/tahun}
 \end{aligned}$$

4.2. Metode Perhitungan Jumlah Sambaran Petir Terhadap SUTT 150 kV Pada Kawat - Tanah

4.2.1. Metode AIEE pada penghantar 150 kV di GI Sengkaling – GI Kebonagung



Gambar 4.1 Menara Transmisi 150 kV Sengkaling-Kebonagung
Sumber: UPT Malang



Gambar 4.2 Konfigurasi Saluran Transmisi 150 kV
 Sumber: Subekti 1989 : 72

Dari Gambar 4.1, dan Gambar 4.2 diperoleh data sebagai berikut:

Panjang hantaran = 15,1 km = 9,3771 mil

p_{11} = 2,9 m = 9,512 kaki

p_{13} = 3,3 m = 10,824 kaki

b_{11} = 2,8 m = 9,184 kaki

b_{13} = 11,8 m = 38,704 kaki

a_{12} = 7 m = 22,96 kaki

h_t = 33,3 m = 109,224 kaki

d_0 = 7,5 m = 24,60 kaki

s = 350 m = 1.148 kaki

n = 11 isolator = 1.606 mm = 1,606 m

θ = 3°

IKL dalam 1 tahun (tahun 2010) sesuai Gambar 3.5 = 195

Langkah-langkah perhitungan:

1. Menentukan jumlah isolator efektif, n_{ef} :

Jarak antara kawat-tanah dengan kawat-fasa terjauh, a_{eq} untuk dua kawat-tanah:

$$a_{13} = \sqrt{p_{13}^2 + b_{13}^2} = \sqrt{10,824^2 + 38,704^2} = \sqrt{117,16 + 1497,99} = 40,188 \text{ kaki}$$

$$a_{23} = \sqrt{(p_{13} + a_{12})^2 + b_{13}^2} = \sqrt{(10,824 + 22,96)^2 + 38,704^2}$$

$$= \sqrt{1141,36 + 1497,99} = 51,374 \text{ kaki}$$

$$a_{eq} = \sqrt{a_{13} \times a_{23}} = \sqrt{40,188 \times 51,374} = 45,438 \text{ kaki}$$

Dari $a_{eq} = 45,438$ kaki, $h_t = 109,224$ kaki dan kurva Gambar 2.11 diperoleh faktor koreksi, $k_f = 0,9$ sehingga n_{ef} adalah

$$n_{ef} = k_f \times n = 0,9 \times 11 = 9,9 = 10 \text{ isolator}$$

2. Distribusi tahanan kaki-menara, R_{fn} :

$R_{f1} = 0,6475 \Omega$, dengan persentase nilai rata-rata 16,33 % dari jumlah tower

$R_{f2} = 1,447 \Omega$, dengan persentase nilai rata-rata 40,82 % dari jumlah tower

$R_{f3} = 2,25 \Omega$, dengan persentase nilai rata-rata 42,86 % dari jumlah tower

3. Jumlah sambaran petir/gangguan petir pada menara untuk setiap harga tahanan kaki-menara, GTR_n :

Dari $n_{ef} = 10$ isolator, $s = 1.148$ kaki, kurva Gambar 2.7.d, dan kurva Gambar 2.10 diperoleh:

$$\text{Untuk } R_{f1} = 0,6475 \Omega, \quad I_{t1} = 158 \text{ kA}$$

$$GTR_1 = 0,24 \text{ gangguan/161 km/tahun}$$

$$\text{Untuk } R_{f2} = 1,447 \Omega, \quad I_{t2} = 150 \text{ kA}$$

$$GTR_2 = 0,25 \text{ gangguan/161 km/tahun}$$

$$\text{Untuk } R_{f3} = 2,25 \Omega, \quad I_{t3} = 147 \text{ kA}$$

$$GTR_3 = 0,27 \text{ gangguan/161 km/tahun}$$

4. Jumlah sambaran petir/gangguan petir pada setengah-rentangan, GM:

Jarak terdekat antara kawat-tanah dengan kawat-fasa pada pertengahan-rentangan,

a_m :

$$\begin{aligned}
 a_m &= \sqrt{p_{11}^2 + \left(b_{11} + \frac{1}{2}d_0\right)^2} \\
 &= \sqrt{9,512^2 + (9,184 + 12,3)^2} \\
 &= \sqrt{90,478 + 461,562} \\
 &= 23,495 \text{ kaki}
 \end{aligned}$$

Dari $a_m = 23,495$ kaki, $s = 1.148$ kaki kurva Gambar 2.8.h dan kurva Gambar 2.10 diperoleh:

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

$$G_m = 1,8 \text{ gangguan/161 km/tahun}$$

Ternyata, untuk semua harga tahanan kaki-menara besarnya arus sambaran petir pada setengah-rentangan, $I_m < 2 I_t$, maka jumlah gangguan petir rata-rata pada kawat-tanah, SKP:

$$\begin{aligned}
 SKP &= \left\{ \frac{GTR_1 + GM}{2} \times 16,33\% + \frac{GTR_2 + GM}{2} \times 40,82\% + \frac{GTR_3 + GM}{2} \times 42,86\% \right\} \times \frac{IKL}{30} \times \frac{1}{1,61} \\
 &= \left\{ \frac{0,24 + 1,8}{2} \times 16,33\% + \frac{0,25 + 1,8}{2} \times 40,82\% + \frac{0,27 + 1,8}{2} \times 42,86\% \right\} \times \frac{195}{30} \times \frac{1}{1,61} \\
 &= \{0,1665 + 0,4184 + 0,4436\} \times 6,5 \times 0,621 \\
 &= 4,1448 \text{ gangguan/161 km/tahun}
 \end{aligned}$$

Jadi, jumlah gangguan petir pada penghantar 150 kV GI Sengkaling – GI Kebonagung, STR: sesuai persamaan (2-2)

$$STR = 0,85 \times SKP = 0,85 \times 4,1448 = 3,5231 \text{ gangguan/161 km/tahun.}$$

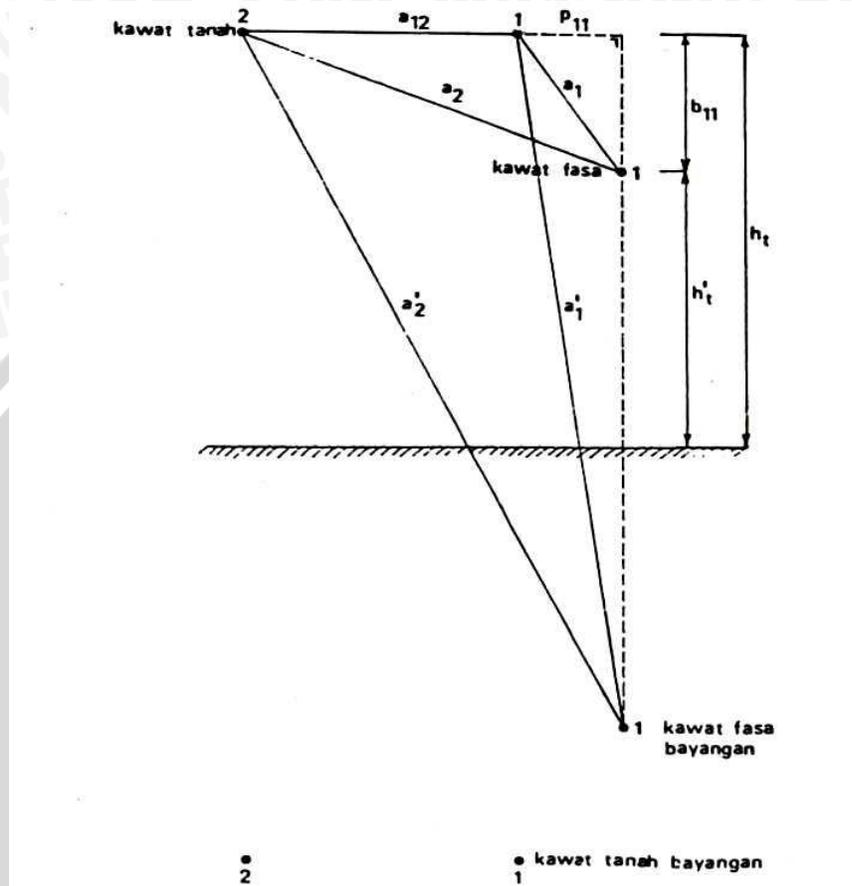
Hasil terlihat pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Jumlah Sambaran Petir Menggunakan Metode AIEE

n_{ef}	$R_{f1} = 0,6475 \Omega$		$R_{f2} = 1,447 \Omega$		$R_{f3} = 2,25 \Omega$		$a_m = 23,495$ kaki		SKP	STR
	I_{t1} (kA)	GTR ₁	I_{t2} (kA)	GTR ₂	I_{t3} (kA)	GTR ₃	I_m (kA)	G_m		
10	158	0,24	150	0,25	147	0,27	80	1,8	4,1448	3,5231

4.2.2. Metode Gelombang-berjalan pada penghantar 150 kV GI Sengkaling – GI Kebonagung

Dari Gambar 2.14, Gambar 4.1 dan Gambar 4.3 diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 4.3 Konfigurasi Saluran Transmisi 150 kV
Sumber: UPT Malang

Panjang hantaran = 15,1 km = 9,3771 mil

$a_{12} = 7 \text{ m} = 22,96 \text{ kaki}$

$b_{11} = x_1 = 2,8 \text{ m} = 9,184 \text{ kaki}$

$d_0 = 7,5 \text{ m} = 24,60 \text{ kaki}$

$d_0' = (3/2) d_0 = 11,25 \text{ m} = 36,9 \text{ kaki}$

$h_t = 33,3 \text{ m} = 109,224 \text{ kaki}$

$h_t' = 30,5 \text{ m} = 100,04 \text{ kaki}$

$h_g = h_t - (2/3) d_0$
 $= 33,3 \text{ m} - (2/3) \times 7,5$
 $= 28,3 \text{ m} = 92,824 \text{ kaki}$

$p_{11} = 2,9 \text{ m} = 9,512 \text{ kaki}$

$$s = 350 \text{ m} = 1.148 \text{ kaki}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/detik (kecepatan cahaya)}$$

$$\text{Kawat-tanah jenis ACSR HAWK luas penampang} = 477 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jari-jari kawat-tanah, } r = 0,048379 \text{ m}$$

$$R_{f1} = 0,6475 \Omega, \text{ sebanyak } 16,33 \%$$

$$R_{f2} = 1,447 \Omega, \text{ sebanyak } 40,82 \%$$

$$R_{f3} = 2,25 \Omega, \text{ sebanyak } 42,86 \%$$

$$a_1 = \sqrt{p_{11}^2 + b_{11}^2} = \sqrt{2,9^2 + 2,8^2} = \sqrt{8,41 + 7,84} = 4,031 \text{ m}$$

$$a_2 = \sqrt{(a_{12} + p_{11})^2 + b_{11}^2} = \sqrt{(7 + 2,9)^2 + 2,8^2} = \sqrt{98,01 + 7,84} = 10,288 \text{ m}$$

$$a'_1 = \sqrt{(2h_t - b_{11})^2 + p_{11}^2} = \sqrt{(2 \cdot 33,3 - 2,8)^2 + 2,9^2} = \sqrt{4070,44 + 8,41} = 63,866 \text{ m}$$

$$a'_2 = \sqrt{(2h_t - b_{11})^2 + (a_{12} + p_{11})^2} = \sqrt{(2 \cdot 33,3 - 2,8)^2 + (7 + 2,9)^2}$$

$$= \sqrt{4070,44 + 98,01} = 64,5635 \text{ m}$$

$$\text{IKL} = 195 \text{ (sesuai Gambar 3.5 BMKG Karangates)}$$

4.2.2.1. Jumlah sambaran petir/gangguan petir pada menara

Langkah-langkah perhitungan:

1. Kopling, K untuk dua kawat-tanah:

$$K = \frac{\ln \sqrt{(a'_1 \cdot a'_2) / (a_1 \cdot a_2)}}{\ln(2h_g / \sqrt{a_{12} \cdot r})}$$

$$= \frac{\ln \sqrt{(63,866 \times 64,5635) / (4,031 \times 10,288)}}{\ln(2 \times 28,3 / \sqrt{7 \times 0,048379})}$$

$$= \frac{\ln \sqrt{4123,4125 / 41,471}}{\ln(56,6 / 0,582)} = \frac{\ln 9,9714}{\ln 97,251} = \frac{2,2997}{4,5773} = 0,5024$$

2. Impedansi surja kawat-tanah, z_g untuk dua kawat-tanah:

$$z_g = 60 \ln(2h_g / \sqrt{a_{12} \cdot r})$$

$$= 60 \ln(2 \cdot 28,3 / \sqrt{7 \cdot 0,048379})$$

$$= 60 \ln 97,251 = 274,638 \Omega$$

3. Impedansi surja menara, z_t untuk sirkit-ganda:

$$\begin{aligned}z_t &= 60 \ln(\sqrt{2}/j) \\ &= 60 \ln\left\{\sqrt{2}/\left(\frac{2,5}{33,3937}\right)\right\} \\ &= 60 \ln 18,88993 = 176,318 \Omega\end{aligned}$$

4. Koefisien transmisi, a:

$$a = \frac{2z_g}{z_g + 2z_t} = \frac{2 \times 274,638}{274,638 + (2 \times 176,318)} = \frac{549,276}{627,274} = 0,8756$$

5. Koefisien refleksi, b:

$$b = a - 1 = 0,8756 - 1 = -0,1244$$

6. Tegangan puncak menara, e:

$$\begin{aligned}e &= \frac{z_g \cdot z_t}{z_g + 2z_t} \cdot I_s = \frac{274,638 \times 176,318}{274,638 + (2 \times 176,318)} \cdot I_s \\ &= \frac{48423,62288}{627,274} \cdot I_s \\ &= 77,1969 \cdot I_s\end{aligned}$$

7. Koefisien refleksi, d:

$$d = \frac{R_f - z_t}{R_f + z_t};$$

$$\text{Untuk } R_{f1} = 0,6475 \Omega, \quad d = \frac{0,6475 - 176,318}{0,6475 + 176,318} = -0,9927$$

$$\text{Untuk } R_{f2} = 1,447 \Omega, \quad d = \frac{1,447 - 176,318}{1,477 + 176,318} = -0,9837$$

$$\text{Untuk } R_{f3} = 2,25 \Omega, \quad d = \frac{2,25 - 176,318}{2,25 + 176,318} = -0,9748$$

8. Waktu kritik, t_c :

$$t_c = T + \frac{x_1}{c}$$

9. Tegangan pada isolator, v_i :

$$v_i = e_0(1-k) \cdot \left(t_c - \frac{x_1}{c} \right) + d \cdot e_0 \left(t_c - \frac{2h_t - x_1}{c} \right) + d \cdot e_0(b-ka) \cdot \left(t_c - \frac{2h_t + x_1}{c} \right) + d^2 \cdot b \cdot e_0 \left(t_c - \frac{4h_t - x_1}{c} \right) + d^2 \cdot b \cdot e_0(b-ka) \cdot \left(t_c - \frac{4h_t + x_1}{c} \right)$$

Dengan memasukkan harga $t_c = T + \frac{x_1}{c}$, diperoleh:

$$v_i = (1-k)T + d \left(T - \frac{2h_t - 2x_1}{c} \right) + d(b-ka) \cdot \left(T - \frac{2h_t}{c} \right) + d^2 \cdot b \cdot \left(T - \frac{4h_t - 2x_1}{c} \right) + d^2 \cdot b \cdot (b-ka) \cdot \left(T - \frac{4h_t}{c} \right) \cdot e_0$$

Dengan memasukkan nilai dari: a, b, c, k, h_t dan x_1 maka diperoleh:

$$v_i = \left\{ 0,4976 \cdot (T) + 0,4357 \cdot (d \cdot T) - 7,803 \cdot 10^{-8} \cdot (d) - 0,0542 \cdot (d^2 \cdot T) + 2,1742 \cdot 10^{-8} \cdot (d^2) \right\} \cdot e_0$$

e_0 dinyatakan dalam arus puncak dari gelombang arusnya, sebagai:

$$e_0 = 77,1969 \cdot \frac{I_s}{T}, \text{ sehingga:}$$

$$v_i = \left\{ 38,4132 + (33,6347 \cdot d) - \left(6,0237 \cdot \frac{d}{T} \right) - (4,1841 \cdot d^2) + \left(1,6784 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{d^2}{T} \right) \right\} \cdot I_s$$

Dengan nilai $R_{f1} = 0,6476 \Omega$; $d = -0,9927$; $T = 0,5$ – TID = 2100 kV; $I_s = 20$ kA maka diperoleh $v_i = 257,22$ kV. Dengan TID yang jauh lebih besar kemampuan tegangannya maka gangguan ini dapat diatasi. Dan untuk bermacam-macam nilai R_f , d, dan harga I_s , T, seperti dalam Tabel 2.1 dan 2.2 akan diperoleh nilai-nilai v_i yang hasilnya disusun pada Tabel 4.2.

10. Dari Gambar 2.13, untuk jumlah isolator $n = 11$ isolator akan diperoleh harga Tingkat Isolasi Dasar (TID):

Untuk : $T = 0,5 \mu s$, harga TID = 2100 kV

$T = 1,0 \mu s$, harga TID = 1680 kV

$T = 1,5 \mu s$, harga TID = 1500 kV

$T = 2,0 \mu s$, harga TID = 1400 kV

Tabel 4.4 Hasil-hasil perhitungan untuk menentukan gangguan karena sambaran petir yang mengenai menara pada penghantar 150 kV Sengkaling-Kebonagung

T (μ s)	I (kA)	Seringnya Terjadi (%)	$R_{f1} = 0,6475\Omega; 16,33\%$			$R_{f2} = 1,447\Omega; 40,82\%$			$R_{f3} = 2,25\Omega; 42,86\%$			Gangguan	
			v_i (kV)	TID (kV)	Gangguan (%)	v_i (kV)	TID (kV)	Gangguan (%)	v_i (kV)	TID (kV)	Gangguan (%)	Jumlah (%)	Total (%)
0,5	20	36	257,22		0	262,59		0	267,89		0	0	0
	40	34	514,44		0	525,18		0	535,78		0	0	0
	60	20	771,66	2100	0	787,78	2100	0	803,68	2100	0	0	0
	80	8	1028,87		0	1050,37		0	1071,57		0	0	0
	100	2	1286,09		0	1312,96		0	1339,47		0	0	0
1	20	36	137,62		0	144,08		0	267,89		0	0	0
	40	34	275,25		0	288,16		0	535,78		0	0	0
	60	20	412,87	1680	0	432,25	1680	0	803,68	1680	0	0	0
	80	8	550,49		0	576,33		0	1071,57		0	0	0
	100	2	688,12		0	720,41		0	1339,47		0	0	0
1,5	20	36	97,76		0	104,58		0	111,31		0	0	0
	40	34	195,52		0	209,16		0	222,62		0	0	0
	60	20	293,28	1500	0	313,74	1500	0	333,93	1500	0	0	0
	80	8	391,04		0	418,32		0	445,24		0	0	0
	100	2	488,79		0	522,89		0	556,55		0	0	0
2	20	36	77,83		0	84,83		0	91,74		0	0	0
	40	34	155,65		0	169,65		0	183,47		0	0	0
	60	20	233,48	1400	0	254,48	1400	0	275,21	1400	0	0	0
	80	8	311,31		0	339,31		0	366,95		0	0	0
	100	2	389,13		0	424,14		0	458,68		0	0	0

11. Persentase kemungkinan terjadinya lewat-denyar, P:

Dari Tabel 4.1 diperoleh hasil:

$$P = (7 \times 0) + (23 \times 0) + (22 \times 0) + (18 \times 0) \\ = 0 \%$$

12. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya diperoleh hasil:

$$A = 43.923,16 \text{ m}^2$$

$$D = 1,7306 \times 10^{-5} \text{ petir/m}^2$$

$$L = 217,1812 \text{ petir/100 km/tahun} = 349,66 \text{ petir/161 km/tahun}$$

13. Jadi, jumlah gangguan petir pada menara, GT:

$$GT = 60\% \times L \times P = 0,6 \times 349,66 \times 0 \\ = 0 \text{ gangguan/161 km/tahun}$$

4.2.2.2. Jumlah sambaran petir/gangguan petir pada seperempat-rentangan

$$b_q = \left(h_t - \frac{d_0}{4} \right) - \left(h_i - \frac{d_0'}{4} \right) \\ = \left(109,224 - \frac{24,60}{4} \right) - \left(100,04 - \frac{36,9}{4} \right) \\ = (109,224 - 6,15) - (100,04 - 9,225) \\ = 12,259 \text{ kaki}$$

$$d_q = \sqrt{b_q^2 + p_{11}^2} = \sqrt{12,259^2 + 9,512^2} = 15,52 \text{ kaki}$$

Dari $d_q = 15,52$ kaki, $s = 1.148$ kaki, kurva-kurva Gambar 2.8.h dan 2.10, maka jumlah sambaran petir/gangguan petir pada seperempat-rentangan, GQ:

$$GQ = 30\% \times 2,5 \times \frac{195}{30} \times \frac{1}{1,61} \\ = 3,0279 \text{ gangguan/161 km/tahun}$$

4.2.2.3. Jumlah sambaran petir/gangguan petir pada setengah rentangan

$$b_m = (h_t - d_0) - (h_i - d_0') \\ = (109,224 - 24,60) - (100,04 - 36,9) = 21,484 \text{ kaki}$$

$$d_m = \sqrt{p_{11}^2 + b_m^2} = \sqrt{9,512^2 + 21,484^2}$$

$$= \sqrt{90,48 + 461,56} = 23,49 \text{ kaki}$$

Dari $d_m = 23,49$ kaki, $s = 1.148$ kaki, kurva Gambar 2.8.h dan kurva Gambar 2.10, maka jumlah gangguan petir pada setengah-rentangan, GM:

$$GM = 10\% \times 1,5 \times \frac{195}{30} \times \frac{1}{1,61}$$

$$= 0,6056 \text{ gangguan/161 km/tahun}$$

Jumlah gangguan petir pada kawat-tanah, SKP:

$$SKP = GT + GQ + GM = 0 + 3,0279 + 0,6056 = 3,6335 \text{ gangguan/161 km/tahun}$$

Jadi jumlah sambaran petir/gangguan petir pada penghantar 150 kV GI Sengkaling – GI Kebonagung, STR:

$$STR = 0,85 \cdot (SKP + GF) = 0,85 \cdot (3,6335 + 0,034)$$

$$= 3,1174 \text{ gangguan/161 km/tahun}$$

4.3. Perbandingan antara Hasil Perhitungan dengan Gangguan Sebenarnya

Dapat dilihat dari hasil analisis sebelumnya menyatakan bahwa untuk metode perhitungan jumlah sambaran petir/gangguan petir dengan metode AIEE lebih banyak tergantung pada kurva-kurva pendekatan (SPLN-13). Kekurangannya dari pendekatan kurva-kurva ini adalah pada saat menentukan titik dimana nilai itu berada, masih merupakan nilai pendekatan terdekat/nilai kasar. Berbeda dengan metode Gelombang-berjalan, metode ini berdasar pada rumusan analisa dari beberapa variabel. Variabel yang dibutuhkan diambil pada saat pengambilan data di Gardu Induk, kemudian data ini dimasukan didalam rumus yang tersedia dengan menyesuaikan jenis kontruksi tower yang digunakan di Gardu Induk. Selain itu, dalam perhitungan dengan metode ini juga dibutuhkan data tahanan kaki tower yang sesuai dengan perencanaan prakiraan gangguan yang akan diteliti dan nantinya akan dicocokkan dengan jurnal gangguan yang didapat langsung dari instansi PLN.

Untuk memperoleh gambaran yang lebih jelas maka hasil-hasil perhitungan dibandingkan dengan gangguan yang sebenarnya, seperti yang tersusun pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan antara hasil perhitungan dengan gangguan sebenarnya

HASIL	Tegangan Kerja	Metode	Nilai Gangguan	Perbandingan (%)
Perhitungan	150 kV	1. AIEE 2. Gelombang Berjalan	1. 3,5231 2. 3,1174	1. 17,44 % 2. 3,913 %
Gangguan Sebenarnya	150 kV	1. 26 Januari 2010 Kebonagung-Sengkaling Sengkaling-Kebonagung 2. 2 Mei 2010 Kebonagung-Sengkaling 2 Sengkaling-Kebonagung 2 3. 21 November 2010 Sengkaling-Kebonagung1 Kebonagung_Sengkaling1 (data gangguan terlampir)	3	

Dari tabel di atas telah terlihat bahwa jumlah sambaran petir/gangguan petir dengan menggunakan metode Gelombang-berjalan diperoleh 3,1174 kali gangguan dibandingkan dengan metode AIEE yang memiliki nilai gangguan 3,5231 kali (untuk persentase perbandingan antara metode Gelombang-berjalan dengan metode AIEE adalah 3,913% dan 17,44 % lebih besar dibandingkan dengan jumlah gangguan yang sebenarnya).

Untuk nilai gangguan petir yang tercatat pada jurnal gangguan di PLN pada tahun 2010 adalah sebesar 3 kali gangguan sambaran petir, maka yang paling mendekati nilai gangguan yang sebenarnya adalah metode perhitungan dengan menggunakan Gelombang-berjalan.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan jumlah sambaran langsung petir pada SUTT 150 kV dengan menggunakan metode AIEE dan metode Gelombang-berjalan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan jumlah sambaran petir/gangguan petir dengan menggunakan metode AIEE lebih cenderung pada nilai kurva-kurva pendekatan, dan nilai kurva pendekatan ini belum bisa dikatakan nilai sebenarnya. Karena nilai yang ditentukan sendiri dari kurva-kurva pendekatan belum tentu hasil perhitungan akhir sesuai dengan nilai gangguan sebenarnya. Sehingga setelah dianalisis membuktikan nilai gangguan dengan metode AIEE memiliki selisih persentase perbandingan lebih besar dari metode Gelombang-berjalan yaitu dengan jumlah gangguan 3,5231 kali dan selisih persentase perbandingan sebesar 17,44 %.
2. Sedangkan untuk metode perhitungan jumlah sambaran petir dengan menggunakan Gelombang-berjalan lebih mengarah pada nilai *real* nya. Metode ini membuktikan keakuratan nilai dengan memastikan data yang diperoleh sesuai dengan prakiraan gangguan yang akan diteliti. Dan setelah dianalisis membuktikan bahwa jumlah gangguan petir dari metode Gelombang-berjalan memiliki jumlah yang mendekati jumlah gangguan sebenarnya yaitu 3,1174 kali dengan selisih persentase perbandingan 3,913 %.
3. Secara keseluruhan, metode Gelombang-berjalan memberikan hasil yang paling mendekati dengan gangguan sebenarnya, dibandingkan dengan metode AIEE. Selisih persentase perbandingan dari metode Gelombang-berjalan lebih kecil yaitu 3,913 % dibandingkan dengan metode AIEE yang memiliki selisih persentase perbandingan sebesar 17,44 % dengan jumlah gangguan sebenarnya pada tahun 2010 adalah 3 kali gangguan (indeks persentase 100%).

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan dari hasil analisis adalah sebagai berikut:

1. Nilai tahanan kaki tower yang akan diteliti merupakan nilai tahanan rata-rata dengan persentase dari banyaknya jumlah tower sepanjang GI Sengkaling – GI Kebonagung. Ini dikarenakan masing-masing kaki tower memiliki nilai tahanan kaki yang berbeda.
2. Dari hasil analisis yang diperoleh telah membuktikan metode Gelombang-berjalan memiliki nilai keakuratan lebih tinggi dari metode AIEE yang telah diterapkan di instansi PLN. Harapannya, agar dapat ditinjau kembali untuk pihak PLN dalam menetapkan metode perhitungan untuk sambaran petir pada saluran udara tegangan tinggi 150 kV khususnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar. 1979. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jilid II. Jakarta: Penerbit Pradya Paramita
- Gunawan Nedi. 2011. <http://www.scribd.com/doc/77421578/7/Gambar-2-1-Tahapan-Proses-Sambaran-Petir>. (diakses 10 Januari 2012)
- Harder, E.L. & Clayton, J.M. 1949. *Transmission Line Design and Performance Based on Direct Lightning Strokes*. Volume 68 : 439-449
- Hutauruk, T.S. 1964. *Metode Untuk Menghitung Gangguan Kilat Pada Kawat Transmisi Tegangan Tinggi*. Proceeding. Bandung. ITB
- Hutauruk, T.S. 1996. *Transmisi Daya Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Kind, Dieter. 1993. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Bandung. ITB
- Sirait, K.T. dan Parouli Pakpahan. 1987. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Bagian I*. Bandung. ITB
- Sirait, K.T. dan Zoro, R. 1987. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Bagian I, Proteksi Terhadap Tegangan Lebih pada Sistem Tenaga Listrik*. Bandung. ITB
- Standar Perusahaan Umum Listrik Negara 13. 1978. *Kriteria Dasar Bagi Perencanaan Saluran Udara Tegangan Tinggi 66 kV dan 150 kV*. Jakarta. Perusahaan Umum Listrik Negara
- Wahono Subekti. 1989. *Tinjauan Terhadap Metode Perhitungan Perilaku Petir Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi di PLN Sektor Madiun*, Tugas Akhir. Bandung. ITB



LAMPIRAN

LAMPIRAN

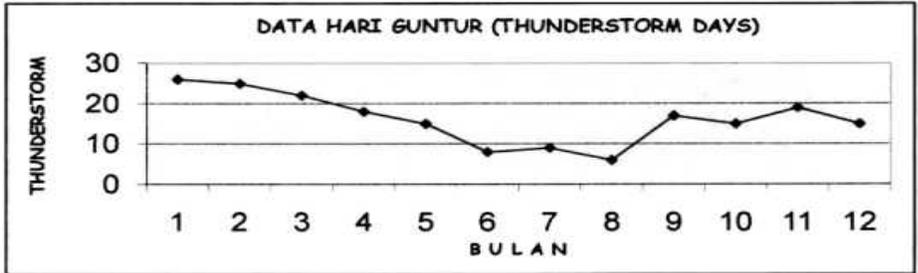
Lampiran 1

DATA HARI GUNTUR (THUNDERSTORM DAYS)
STASIUN GEOFISIKA KARANGKATES-MALANG

TAHUN : 2010

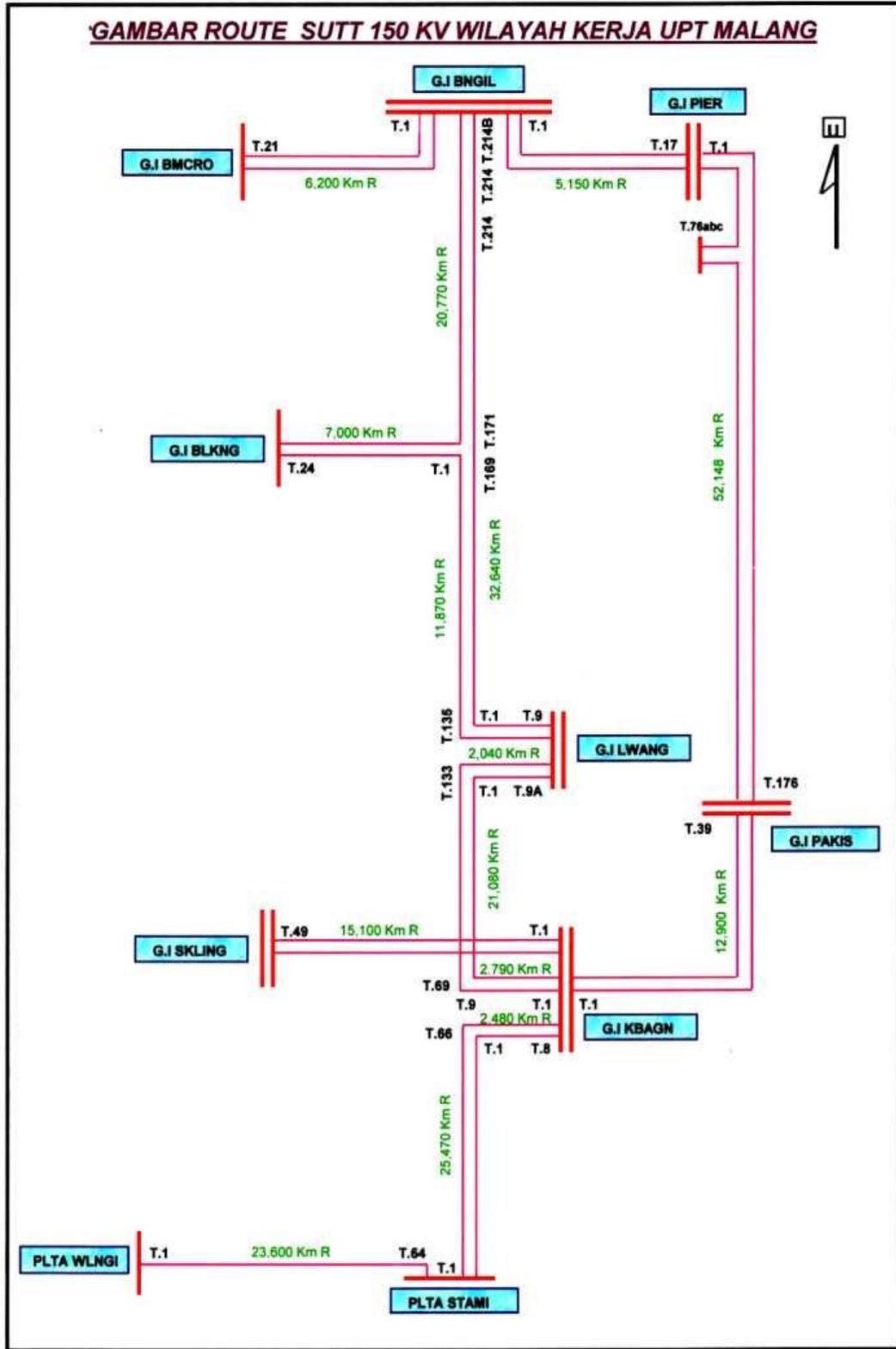
TGL	B U L A N												KET
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES	
1	x	x	0	x	x	0	0	0	0	0	x	x	
2	x	0	0	x	x	0	0	0	0	x	0	x	
3	x	0	0	0	x	0	0	0	0	0	x	x	
4	x	x	x	x	x	0	x	0	0	0	x	x	
5	x	x	x	x	x	0	0	0	x	0	x	x	
6	x	x	x	x	0	0	0	0	x	0	x	x	
7	x	x	x	x	x	x	0	0	x	0	x	x	
8	x	x	x	x	x	x	0	0	x	0	x	0	
9	x	x	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x	
10	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	
11	x	x	x	x	x	0	x	0	x	0	0	0	
12	x	x	0	x	0	x	x	0	0	0	0	x	
13	x	x	0	0	x	x	x	0	x	0	0	0	
14	x	x	0	0	0	x	0	0	0	0	x	0	
15	x	0	x	0	x	x	x	0	x	0	x	x	
16	x	x	x	x	0	x	x	0	x	x	0	x	
17	x	x	x	0	0	0	0	0	x	x	0	x	
18	x	x	x	0	x	0	0	0	x	0	0	0	
19	x	x	x	0	0	0	0	0	x	0	0	x	
20	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	
21	x	x	x	0	0	0	0	x	x	x	x	0	
22	x	x	x	0	0	0	0	x	x	x	0	0	
23	0	x	0	x	x	0	0	x	x	x	x	0	
24	0	x	0	x	0	0	0	x	x	x	x	0	
25	x	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x	0	
26	x	x	x	0	0	0	0	0	0	x	x	0	
27	0	x	x	x	0	0	x	0	0	x	x	0	
28	0	x	x	x	0	0	x	0	0	x	x	0	
29	x		x	0	x	0	x	0	0	x	x	0	
30	x		x	x	0	0	0	x	0	x	x	0	
31	0		x		0		0			x		x	
JML	26	25	22	18	15	8	9	6	17	15	19	15	

Keterangan : (x) ada satu atau lebih thunderstorm
(0) tidak ada thunderstorm
() tidak ada pengamatan



Tabel L.1 Data Hari Guntur (thunderstorm days)

Lampiran 2



Gambar L.2 Route SUTT 150 kV Wilayah Kerja UPT Malang

Lampiran 3



Gambar L.3.1 Kontruksi Tower Tiang 1 GI Sengkaling – GI Kebonagung

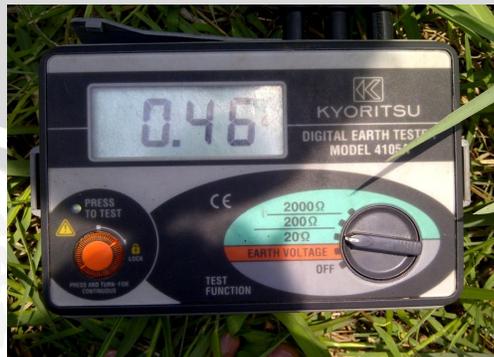


Gambar L.3.2 Hasil Pengukuran Tahanan Kaki Tower 1 (Oktober 2011)

Lampiran 4



Gambar L.4.1 Kontruksi Tower Tiang 2 GI Sengkaling – GI Kebonagung



Gambar L.4.2 Hasil Pengukuran Tahanan Kaki Tower 2 (Oktober 2011)

Lampiran 5



Gambar L.5.1 Kontruksi Tower Tiang 3 GI Sengkaling – GI Kebonagung



Gambar L.5.2 Hasil Pengukuran Tahanan Kaki Tower 3 (Oktober 2011)

Lampiran 6



PT. PLN (PERSERO) P3B JB
REGION JAWA TIMUR DAN BALI
UNIT PELAYANAN TRANSMISI MALANG

HASIL PENGUKURAN TAHANAN TANAH PADA KAKI TOWER
SUTET / SUTT : 150 KV KEBONAGUNG - SENGKALING
Tgl : 2 s/d 5 Agustus 2010

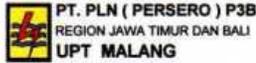
NO	NO.TOWER	JENIS TOWER	HASIL PENGUKURAN				TOWER	ARDE & TOWER **)	KONDISI TANAH	CUACA	KETERANGAN
			RDE TOWER	ARDE							
			A	B	C	D					
1	1	ST	-	-	-	-	0,19	-	Basah	Panas	
2	2	ST	-	-	-	-	0,38	-	Basah	Panas	2 Support isolator
3	3	DS	-	-	-	-	1,89	-	Basah	Panas	1 Support isolator
4	4	DS	-	-	-	-	1,93	-	Basah	Panas	
5	5	DS	-	-	-	-	1,37	-	Basah	Panas	
6	6	DT-ST	-	-	-	-	1,54	-	Basah	Panas	
7	7	SS	-	-	-	-	1,4	-	Basah	Panas	arah tower besar
8	8	SS	-	-	-	-	1,27	-	Basah	Panas	↑
9	9	SS	-	-	-	-	0,9	-	Basah	Panas	D A
10	10	DS	-	-	-	-	1,91	-	Basah	Panas	⊗
11	11	DS	-	-	-	-	2,41	-	Kering	Panas	
12	12	SS	-	-	-	-	1,36	-	Basah	Panas	
13	13	ST-DT	-	-	-	-	0,9	-	Basah	Panas	
14	14	DS	-	-	-	-	1,12	-	Basah	Panas	C B
15	15	DS	-	-	-	-	1,2	-	Basah	Panas	↑
16	16	DS	-	-	-	-	1,32	-	Kering	Panas	
17	17	SS	-	-	-	-	1,54	-	Kering	Panas	
18	18	ST-DT	-	-	-	-	0,96	-	Kering	Panas	2 Support isolator
19	19	SS	-	-	-	-	1,34	-	Kering	Panas	
20	20	SS	-	-	-	-	2,6	-	Kering	Panas	
21	21	SS	-	-	-	-	1,65	-	Kering	Panas	
22	22	SS	-	-	-	-	1,6	-	Kering	Panas	
23	23	DS	-	-	-	-	1,48	-	Kering	Panas	
24	24	DT-ST	-	-	-	-	2,8	-	Kering	Panas	
25	25	DS	1,33	-	3,84	-	1,81	1,50	Kering	Panas	
26	26	DS	-	-	-	-	1,56	-	Kering	Panas	
27	27	SS	-	-	-	-	2,15	-	Kering	Panas	
28	28	DS	-	-	-	-	2,79	-	Kering	Panas	
29	29	DS	-	-	-	-	1,88	-	Kering	Panas	
30	30	SS	-	-	-	-	2,05	-	Kering	Panas	1 Support isolator
31	31	ST-DT	-	-	-	-	1,01	-	Kering	Panas	
32	32	DS	-	-	-	-	2,58	-	Kering	Panas	
33	33	DS	-	-	-	-	1,96	-	Kering	Panas	
34	34	DS	-	-	-	-	1,94	-	Kering	Panas	
35	35	DS	1,56	-	3,63	-	2,1	1,54	Kering	Panas	
36	36	DS	-	-	-	-	1,67	-	Kering	Panas	
37	37	DS	-	-	-	-	2,09	-	Kering	Panas	
38	38	SS	-	-	-	-	1,77	-	Kering	Panas	
39	39	DS	-	-	-	-	2,12	-	Kering	Panas	
40	40	DT-ST	-	-	-	-	0,96	-	Kering	Panas	

KETERANGAN :

- *) Sebelum klem arde dibersihkan
- **) Sesudah klem arde dibersihkan

Tabel L.6.1 Data Pengukuran Tahanan Kaki Tower GI Sengkaling – GI Kebonagung
(Agustus 2010)

Lampiran 7



Jarak Kilometer Route & Kilometer Sirkuit SUTT
Wilayah Kerja UPT Malang
Akhir Tahun : 2009

Hal : 42

No	SUTT	Km Route	Km Sirkuit	Jml Tower
500 kV				
1	500 kV Paiton - Kediri	25,764	51,528	T.226 - 286 = 60
		25,764	51,528	60
150 kV				
1	150 kV Wlingi - Sutami	23,600	23,600	1 - 64 = 64
2	150 kV Sutami - Kebonagung	25,470	50,940	1 - 66 = 66
	150 kV In Coming Kbagn T.1 - 8	2,480	4,960	1 - 8 = 8
3	150 kV In Coming Kbagn T.1 - 9	2,790	5,580	1 - 9 = 9
	150 kV Kebonagung - Lawang	21,080	42,160	69 - 133 = 65
	150 kV In Coming Lwang T.1 - 9	-	3,880	1 - 9 = 9
4	150 kV Kebonagung - Sengkaling	15,100	30,200	1 - 49 = 49
5	150 kV Kebonagung - Pakis	12,900	25,800	1 - 39 = 39
6	150 kV Lawang - Bangil	32,640	32,640	135 - 214, A, B = 82
	150 kV In Coming Lawang (Arah Bngil)	2,040	4,080	1A, 2A, 9A = 3
	150 kV Lawang - Bulukandang	-	11,870	-
	150 kV Bulukandang - Bangil	-	20,770	-
7	150 kV Bulukandang Branch	7,000	14,000	1 - 24 = 24
8	150 kV Bangil - Pier	5,150	10,300	1 - 17 = 17
9	150 kV Bangil - Bumicokro	6,200	12,400	1 - 21 = 21
10	150 kV Pier - Pakis	52,148	104,296	1 - 176+ 76B+ 76C = 178
		208,598	397,476	634
70 kV				
1	70 kV Karangates - Sengguruh	12,770	25,540	1 - 43 = 43
2	70 kV Kebonagung - Sengguruh			
	70 kV In Coming Kbagn	4,240		1 - 14 = 14
	70 kV T.54 - T.125	21,535		54 - 125 = 72
3	70 kV Sengguruh - Gampingan	1,345		126 - 130 = 5
		27,120	54,240	
4	70 kV Turen Branch	10,100	20,200	1 - 36 (6A, 12A, 18A, 27A, 32A) = 41
5	70 kV Kebonagung - Polehan			
	70 kV In Coming Kbagn	3,810		1 - 14 = 14
	70 kV T.35 - T.50	4,075		35 - 50 = 16
	70 kV In Coming Polehan	3,540		1 - 13 = 13
		11,425	22,850	
6	70 kV Blimbing - Polehan			
	70 kV Blimbing - T.34	8,932		1, 1A - 34 = 35
	70 kV In Coming Polehan	3,250		1 - 12 = 12
		12,182	24,364	
7	70 kV Mendalan - Blimbing (Line II)	38,200	38,200	1 - 66 = 66
	70 kV Mendalan - Sengkaling		29,590	1 - 3 & 7A, 7B, 8A = 6
	70 kV In Coming Selorejo	0,340	0,680	20A, 35A, 40A, 45A, 47A, 48A, 49A, 49B = 8
	70 kV Sengkaling - Blimbing		8,610	52A, 52B, 52C, 52D, 53A, 55A, 59A, 63A = 8
		38,540		
8	70 kV Blimbing - Bangil	40,000	40,000	67-148, 67A, 116A, 136A, 142A, 148A, 148B = 88
	70 kV Blimbing - Sukorejo	27,000	27,000	
	70 kV Sukorejo - Bangil	13,000	13,000	
9	70 kV Lawang (T.1) - Polaman (T.6)	3,500	7,000	1 - 6 = 6
10	70 kV Bangil - Pandaan	9,700	19,400	1 - 32 = 32
		165,337	330,674	479
	Total	399,699	779,678	1.173

Tabel L.7 Jarak Kilometer *Route* & Kilometer Sirkuit SUTT Wilayah Kerja UPT Malang

Lampiran 8



DATA JARINGAN TRANSMISI WILAYAH KERJA UPT MALANG																					
No.	ROUTE/JURUSAN	SALURAN TRANSMISI YANG TERPASANG																			
		JENIS SALURAN		PENAMPANG MM ² /MCM	TEGANGAN 500 KV				JUMLAH TOWER Bh	TEGANGAN 150 KV				JUMLAH TOWER Bh	TEGANGAN 70 KV				TAHUN OPERASI		
		UDARA	KABEL		PANJANG		CIRCUIT			PANJANG		CIRCUIT			PANJANG		CIRCUIT				
		(SU)	(SK)	KM	SK	KM	SK	KM	SK	KM	SK	KM	SK	KM	SK	KM	SK				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	PAITON - KEDIRI 1, 2	ACSR GANET	4 X 392,8	25,764		61,528		60												2003	
1	PLTA WLINGI - PLTA SUTAMI	ACSR PARTRIDGE	160						23,600		23,600		64							1975	
2	PLTA SUTAMI - KEBONAGUNG 1, 2	ACSR AW	330	25,470		50,940		66												1975	
	INCOMING KEBONAGUNG (T.1 - 8)	ACSR AW	330	2,480		4,960		8													
3	KEBONAGUNG - LAWANG 1, 2	ACSR AW	330	21,080		42,160		65												1975	
	INCOMING KEBONAGUNG (T.1 - 9)	ACSR AW	330	2,790		5,580		9												1997	
	INCOMING LAWANG (T.1 - 9)	ACSR AW	330	-		3,880		9													
4	LAWANG - BANGIL	ACSR AW	330	32,640		32,640		62												1997	
	INCOMING LAWANG (ARAH BANGIL)	ACSR AW	330	2,040		4,080		3													
	LAWANG - BLKDANG	ACSR AW	330	-		11,870														1997	
	BULUKANDANG - BANGIL	ACSR AW	330	-		20,770															
5	BULUKANDANG BRANCH	ACSR AW	330	7,000		14,000		24												1997	
6	KEBONAGUNG - SENGKALING 1, 2	ACSR HAWK	477	15,100		30,200		49												1987	
7	KEBONAGUNG - PAKIS 1, 2	ACSR ZEBRA	2 X 435	12,900		25,800		39												1996	
8	BANGIL - PIER 1, 2	ACSR ZEBRA	2 X 435	5,150		10,300		17												1995	
9	BANGIL - BUMICOKRO 1, 2	ACSR ZEBRA	2 X 435	6,200		12,400		21												1996	
10	PIER - PAKIS 1, 2	ACSR ZEBRA	2 X 435	52,148		104,296		178												2006	
1	KARANGKATES - SENGGURUH 1, 2	ACSR PIGEON	3/0											12,770		25,540		43		1975	
2	KEBONAGUNG - SENGGURUH	ACSR OSTRICH	300																	1975	
	INCOMING KEBONAGUNG	ACSR OSTRICH	300											4,240		8,480		14		1975	
	T. 54 - T. 125	ACSR OSTRICH	300											21,535		43,070		72		1975	
3	SENGGURUH - GAMPINGAN	ACSR OSTRICH	300											1,345		2,690		5		1975	
	Ex TUREN BRANCH -	TACSR	160											27,120		54,240				1975	
4	KEBONAGUNG - POLEHAN 1, 2	ACSR OSTRICH	300											10,100		20,200		41		1975	
5	INCOMING KEBONAGUNG	ACSR OSTRICH	300																	1975	
	T. 35 - T. 50	ACSR OSTRICH	300											3,810		7,620		14		1975	
	INCOMING POLEHAN	ACSR OSTRICH	300											4,075		8,150		16		1975	
		ACSR OSTRICH	300											3,540		7,080		13		1975	
			300											11,425		22,850				1973	
6	BLIMBING - POLEHAN 1, 2	ACSR PIGEON	3/0																	1973	
	BLIMBING - T 34	ACSR PIGEON	3/0											8,932		17,864		35		1973	
	INCOMING POLEHAN	ACSR PIGEON	3/0											3,250		6,500		12		1973	
			3/0											12,182		24,364				1975	
7	MENDALAN - BLIMBING (LINE II)	ACSR OSTRICH	3/0											38,200		38,200		66		1975	
	MENDALAN - SENGKALING	ACSR OSTRICH	3/0													29,590		6		1975	
	INCOMING SELOREJO	ACSR OSTRICH	3/0											0,340		0,680		8		1975	
	SENGKALING - BLIMBING	ACSR OSTRICH	3/0													8,610		8		1975	
			3/0											38,540		77,080				1925	
8	BLIMBING - BANGIL	ACSR PIGEON	3/0											40,000		40,000		88		1925	
	BLIMBING - SUKOREJO	ACSR PIGEON	3/0											27,000		27,000				1925	
	SUKOREJO - BANGIL	ACSR PIGEON	3/0											13,000		13,000				1925	
9	LAWANG (T1) - POLAMAN (T.6)	ACSR PIGEON	3/0											3,600		7,000		6		1975	
10	BANGIL - PANDAAN 1, 2	ACSR OSTRICH	300											9,700		19,400		32		1975	
TOTAL				25,764	-	61,528	-	60	208,598	-	397,476	-	634	165,337	330,674	-	479	-	-	-	

Tabel L.8 Data Jaringan Transmisi Wilayah Kerja UPT Malang