

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



**MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG**

**ANALISIS KEPRESISIAN LOKASI GANGGUAN AKIBAT SURJA
PETIR PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV DI PT. PLN
(PERSERO) DISTRIBUSI JAWA TIMUR AREA MADIUN**

SKRIPSI

**Disusun Oleh :
IPUNG NURCAHYONO
NIM. 99.12.136**

MARET 2005

1954

1954
1954
1954

1954

(CLASSIFIED) INFORMATION THAT INDICATES THAT THE
RECORDS OF THE NATIONAL ARCHIVES TO BE IN THE
HANDS OF MEMBERS OF THE FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION

1954
1954
1954
1954

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS KEPRESISIAN LOKASI GANGGUAN AKIBAT
SURJA PETIR PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV DI
PT. PLN (Persero) DISTRIBUSI JAWA TIMUR AREA MADIUN**

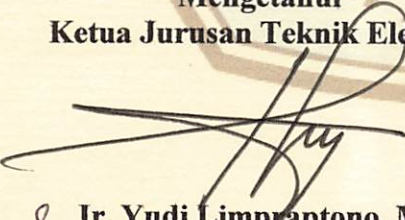
SKRIPSI

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

Disusun Oleh:

**IPUNG NURCAHYONO
NIM. 99.12.136**

**Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro**


Ir. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y. 103 950 0274

**Disetujui,
Dosen Pembimbing**


Ir. Soemarwanto
NIP. 130 873 485

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

ABSTRAKSI

Ipung nurcahyono, “Analisis Kepresisian Lokasi Surja Petir Yang Menyebabkan Gangguan Pada Jaringan Distribusi 20 kV di PT. PLN (persero) Distribusi Jawa Timur Area Madiun ”, Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Dosen Pembimbing : Ir. Soemarwanto.

Saluran distribusi tegangan menengah sering sekali mengalami gangguan akibat sambaran petir, baik sambaran yang langsung mengenai jaringan distribusi tersebut atau sambaran tidak langsung atau yang biasa disebut dengan sambaran induksi. Sambaran petir ini dapat mengganggu kestabilan sistem penyaluran daya listrik ke konsumen. tujuan dari pembahasan skripsi ini adalah menganalisis kepresisian lokasi surja petir yang menyebabkan gangguan pada jaringan distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun.

Untuk mengetahui berapa besar sambaran petir pada Saluran Udara Tegangan menengah 20 kV di PT. PLN (persero) Distribusi Jawa Timur Area Madiun, maka dapat dilakukan analisis jumlah gangguan akibat sambaran petir di PT. PLN (persero) Distribusi Jawa Timur Area Madiun .

Hasil perhitungan dari jumlah gangguan akibat sambaran petir pada jaringan distribusi 20 kV di PT. PLN (persero) distribusi jawa timur area madiun, antara tiang besi dan tiang beton

- Jumlah gangguan petir akibat sambaran langsung (N_t) pada tiang beton mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan jumlah gangguan pada tiang besi.

- Besar sambaran induksi (N_i) pada tiang besi maupun tiang beton, baik menggunakan kawat tanah maupun tidak menggunakan kawat tanah, jumlah gangguan pada tiang beton mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan tiang besi.
- Besarnya sambaran total (N_o) pada tiang besi maupun pada tiang beton, baik menggunakan kawat tanah maupun tidak menggunakan kawat tanah, jumlah gangguan pada tiang beton mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan tiang besi.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya, maka penulisan skripsi yang merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi program strata satu (S-1) jurusan Teknik Elektro/Teknik Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang ini dapat terselesaikan.

Sebelum dan selama penulisan skripsi, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak DR. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. F. Yudy Limpraptono M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Energi listrik Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. Soemarwanto, selaku Dosen Pembimbing penulisan skripsi ini.
4. Bapak-bapak dan ibu-ibu dosen jurusan Teknik Elektro Energi Listrik.
5. Bapak dan ibuku, kakak dan adikku yang sangat berarti dalam kehidupan penulis, dimana do'a serta keridhaannya senantiasa penulis harapkan.
6. Teman-teman di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya akan segala kekurangan yang ada dalam penulisan skripsi ini, maka dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan skripsi ini.

Malang, Maret 2005

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAKSI	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GRAFIK	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penulisan	3
1.5. Metodologi	3
1.6. Sistematika Pembahasan	4
BAB II SAMBARAN PETIR PADA JARINGAN TRANSMISI	6
2.1. Gangguan pada Jaringan distribusi	6
2.2. Proses Terjadinya Petir	7
2.3. Komponen Saluran Udara Tegangan Menengah	12
2.3.1. Tiang	12
2.3.1.1. Tiang Beton	12
2.3.1.2. Tiang Besi	14
2.3.2. Isolator	15
2.3.2.1. Fungsi Isolator	15
2.3.2.2. Bahan dan Bentuk Isolator	15
2.3.3. Konduktor	18
2.3.4. Transformator	20
2.3.5. Arrester	22

2.3.6. Pentanahan	23
-------------------------	----

BAB III PENENTUAN LOKASI GANGGUAN AKIBAT SAMBARAN PETIR

PADA SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH.....	27
3.1. Gangguan Petir Pada Saluran Udara Tegangan Menengah	27
3.2. Impedansi Surja.....	27
3.2.1. Impedansi Surja sendiri.....	27
3.2.2. Impedansi Surja bersama.....	28
3.3. Perlindungan SUTM Terhadap Sambaran Petir.....	29
3.4. Hari Guruh	30
3.5. Penangkapan Petir Oleh Saluran	31
3.6. Jumlah Sambaran Petir.....	32
3.6.1. Jumlah Sambaran Petir ke Tanah	32
3.6.2. Jumlah Sambaran Petir ke Saluran.....	32
3.7. Jumlah Gangguan Pada Saluran.....	33
3.7.1. Jumlah Gangguan Akibat Sambaran Langsung.....	33
3.7.1.1. Saluran tanpa kawat tanah.....	33
3.7.1.2. Saluran dengan Kawat Tanah.....	34
3.8. Jumlah Gangguan Akibat Sambaran Induksi.....	35
3.8.1. Saluran Tanpa Kawat Tanah.....	35
3.8.2. Saluran Dengan Kawat Tanah.....	36
3.9. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah	38
3.10. Penentuan Kepresisian Lokasi Gangguan Pada Saluran Udara Tegangan Menengah	42

**BAB IV. ANALISIS PERHITUNGAN JUMLAH GANGGUAN DAN
PENENTUAN LOKASI GANGGUAN AKIBAT SAMBARAN
PETIR PADA SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH 46**

4.1. Jumlah Gangguan, Data konstruksi tiang listrik yang digunakan di PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun	58
4.1.1. Tiang beton.....	49
4.1.1.1. Sambaran langsung	49
4.1.1.2 Sambaran Induksi.....	51
4.1.1.2.1. Dengan kawat tanah.....	51
4.1.1.2.2. Tanpa kawat tanah	53
4.1.2. Tiang besi	54
4.1.2.1. Sambaran langsung	54
4.1.2.2. Sambaran induksi	54
4.1.2.2.1. Dengan kawat tanah	55
4.1.2.2.2. Tanpa kawat tanah	57
4.2. Penentuan Letak Titik Gangguan	60
4.2.1. Tiang Beton	60
4.2.1.1. Data Konstruksi penyulang Manguharjo	60
4.2.2. Perhitungan Letak Gangguan Pada $f = 15,635$ km Dengan $Z_f = 0 \Omega$	61
BAB V KESIMPULAN	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1.a. Muatan sepanjang pinggir awan menginduksi muatan lawan ke bumi..	9
2.1.b. Lidah Petir Menjalar ke Arah Bumi	9
2.1.c. Kilat Sambaran dari Bumi ke Awan	10
2.1.d. Kumpulan Muatan pada Jaringan Transmisi.....	10
2.2. Tiang Beton 20 kV yang digunakan pada PT.PLN Distribusi Jawa Timur area Madiun.....	13
2.3. Tiang Besi 20 kV yang digunakan pada PT.PLN Distribusi Jawa Timur area Madiun.....	14
2.4. Isolator Jenis Pasak 15 kV Charbonneaux	16
2.5. Isolator Gantung.....	17
2.6. Isolator Batang Panjang	18
2.7. Isolator Post Saluran	18
2.8. Konstruksi Trafo Distribusi.....	21
2.9. Arrester Jenis Ekspulsi	22
2.10. Arrester Jenis Katup.....	23
2.11. Sistem sederhana Pentanahan	24
2.12. Sistem Pentanahan Pada Trafo.....	24
2.13. Pentanahan Pada Tiang Distribusi	25
2.1.4. Batang pentanahan	25
3.1. Sekelompok kawat dengan bayangannya.....	28
3.2. Peta Isokeraunik Level.....	30
3.3. Lebar Bayang – bayang Listrik dibawah Saluran	31
3.4. Distribusi Arus Kilat bila Menyambar Kawat	33
3.5. Saluran dengan satu kawat tanah dan tahanan kontak R.....	37
3.6. Petir menyambar tanah berjarak y dari kawat.....	38
3.7. Gangguan satu fasa ke tanah (gangguan di fasa a)di titik f dengan panjang saluran (km), Gangguan dititik f (km).....	39
3.8. Hubungan jala-jala Urutan untuk gangguan satu fasa ke tanah	40
3.9. Gangguan Tegangan dan Arus pada Titik X.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Konstruksi Penghantar Udara Campuran Aluminium Telanjang (AAAC)	20
3.1. Probabilitas Peralihan Lompatan Api Menjadi Busur Api	29
3.2. Nilai V select dan I select Untuk perbandingan Impedansi	43
4.1. Jumlah Gangguan Petir	59
4.2. Penentuan letak titik gangguan	65

DAFTAR GRAFIK

4.1. Grafik arus gangguan sebagai fungsi dari jarak gangguan	67
4.2. Grafik arus gangguan sebagai fungsi dari jarak gangguan	67
4.3. Grafik arus gangguan sebagai fungsi dari jarak gangguan	67

PERSEMBAHAN

Syukur Alhamdulillah Ku Panjatkan Kepada The One And Only " ALLAH SWT " yang telah menciptakan segala alam beserta isinya. Terimakasih ALLAH Kau Telah Ciptakan Aku Dalam Keadaan Yang Tak Kurang Satu Apapun Dan Juga Kau Berikan Aku Kedua Orang Tua Yang Tabah Dan Taat Kepada Semua Amanat-Mu. " Ayahanda & Ibunda " Kau Ulurkan Tanganmu Ketika Aku Jatuh Dan Kau Tunjukkan Jalan Ketika Aku Tersesat, Sungguh Semua Perhatian Dan Kasih Sayangmu Bagaikan Lentera Hidupku Yang Tiada Pernah Mati Walau Sesaat, Senantiasa Kau Berikan Cahaya Terangmu Untuk Menerangi Jalan Hidupku Selama Ini " Trima Kasih Ayah & Trimakasih Ibu". Kini Telah Usai Aku Emban Amanatmu, Serta Merta Ku Persembahkan Karyaku Ini Sebagai Rasa Syukurku. Yang Aku Banggakan Saudaraku Sekandung Kakaku Tercinta Arif Kurniawan, Adikku Yang Kusayangi Johan Purnomo (Jovanka), Adikku Yang Tercinta Fitria Puspitasari (Jangan Bandel Bandel Yaa...) Yang Telah Memberikan Spirit, Suport Dan Motivasi Kepada Ipung Untuk Menyelesaikan Studi Ipung Hingga Jenjang Strata Satu (S-1) Terimakasih Saudaraku, Semoga Kita Semua Dijadikan Orang-Orang Yang Berhasil Lahir Dan Batin Amin. Akhir Kata, Semoga Dengan Berakhirnya Masa Kuliahku Di Institut Teknologi Nasional Malang Ini Dijadikan Sebagai Bekal Langkah Awal Untuk Menuju Kehidupan Yang Lebih Baik Lagi. "Salam"

Special thanks

✦ *Ipung Nurcahyono Thanks ; The One And Only ALLAH SWT, My Partner : from Japan Mr Nagai, Mr Kubara Atas Ilmu Dan Pengetahuan Untuk Pengerjaan Kereta Listrik HITACHI, from Belanda Mr John, Mr Hans Atas Ilmu Dan Pengetahuan Untuk Pengerjaan Kereta Listrik BN & kereta diesel Argobromo Anggrek, Bapak Kepala PT INKA Madiun Yang Telah Memilih dan Memberi Kepercayaan Kepada Ipung Sehingga Ipung Bisa Jadi Mengerti, Bapak DANLANUD Iswahjudi Atas Waktu Yang Diberikan Kepada Ipung Untuk Masuk Ke Pangkalan Udara Wilayah Bapak, PROV TINI AU Lanud Iswahyudi Atas Pengawalannya Dan Kepercayaanya Untuk Memasuki Pangkalan, Bapak Hendrojono DANPOMDAM CPM Jawa Timur For All Support, Bapak Ir. Sugeng, Ir. Firdaus, Bapak Soeparno Manager Unit PLN (distribusi) Jawa Timur Area Madiun (Atas Dana Yang Yang Diberikan Kepada Ipung Untuk Pengerjaan Skripsi Ini Serta Kepercayaan Yang Diberikan Kepada Ipung Untuk Menempati Ruangan Bapak), Anak- Anak PATINDO Yang Selalu Setia Menyediakan Data Buat Ipung, (Mbak Nawang, Mbak Retno Semoga Tambah Cantik Aja Ya...) Bapak Kepala Kantor JAMSOSTEK Madiun Atas Kesempatannya Memberikan Pintu Yang Selebar-Lebarnya Untuk Bermain Ke Kantor Bapak Baik Siang Ataupun Malam, Bapak Kepala RRI Madiun Dan Seluruh Stafnya Atas Kesempatannya Yang Diberikan Kepada Ipung Untuk Melakukan Siaran Di Malam Minggu, Bu Mimien, Mbak Ela, Mas Jayank. (Maaf Kalau Selama Ini Ipung Sering Ngrepotin & Bikin Kesel Jurusan Yang Pasti Ipung Tetap Ngerti Kox)*

✚ ***Ipunk's close friends*** : Tri Mbolu, Konjin, Ivon, Andix, Wawan Satenk, Eko Punk, Didit, Endro Karso, Deni Pak Wit, Rembel, Aar Kentir, Nur Katur, Very, Rahayu Diah Eka Wati, Ariva Maisyaro, Happy Laksmiana, Prativi, Yusa (Jinten), Rudi (Jebrenk), Rony (Gondronk), Very (Kepel), Dony (Dobret), Yoedana, Doni, Vendy Mbendol, Luxy, Eko Joir, Pak Roni, Eko Jamsos, Gapox, Bidin, Ndandung, trisna soepeno, rendy, Inung, Sigit, Fuat, dias atenk, Didon, Galih, Lesty Gembul, Oris, Weda, Hermin, Fitri, Ririn, Hary Aconx, Andix Cexo dan masih banyak lagi yang lain yang tidak mungkin kami sebutkan satu persatu, anak anak jalanan aku masih tetap teman kamu dan aku akan selalu mengingatmu

✚ ***Ipunk's school friends*** : Dwi Pakde, Bagong, jantur tabis, Roma Cepu, Ami Pak Man, Pipit (Aku Akan Selalu Inget Hehe...), Mbak Karty Aku Akan Selalu Inget & Trima kasih Banget Atas Semuanya Smoga Sukses, Heru, Nanang, Santo, Yudhi, Adhi, Eko KI, Agus, yudy AE, Tegal, Cimot, Linda, Nila, Yati, Dani, Sogol, Pam, Erwin, dwi (sincan), Peter, Asrofi, Aang, Umam, Didik "Buluq", Andi(ongis), Teguh, Sulik, Dadang, Vicky, Ruslan, Dhani, Roma "cemeng", Doni "coky", Joko, Medyanto, Vidya, fery, Sum, Robi, Dedi, Hanafi, Wahyu, Herman Felani, Made, Didit, Lukman '00 "mbali", Fitri, Desy '96, Ina, indah, Diana, Widya, dan lainnya yang tak sempat ku sebutkan satu persatu

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan akan tenaga listrik yang semakin meningkat tidak hanya dari segi kualitas, tetapi juga dari segi kuantitas. Hal ini disebabkan dengan semakin meningkatnya taraf hidup serta pola pikir dari masyarakat sebagai konsumen. Konsumen tenaga listrik pada masa sekarang ini menuntut adanya peningkatan keandalan pelayanan penyaluran tenaga listrik yang lebih baik kepada pelanggan.

Pada kenyataannya kontinuitas penyaluran tenaga listrik tidak dapat sepenuhnya terpenuhi, karena adanya berbagai gangguan serta upaya perbaikan yang dilakukan oleh PLN berupa pemasangan peralatan, penyambungan jaringan baru dan pemeliharaan jaringan yang mengakibatkan terganggunya kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Faktor yang mengakibatkan terganggunya penyaluran energi listrik selain faktor teknis juga faktor alam. Faktor alam antara lain adanya sambaran petir baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Faktor teknis lainnya seperti kerusakan peralatan, isolasi serta peralatan penunjang yang lain sehingga mengakibatkan adanya gangguan pada penyaluran energi listrik kepada konsumen.

Dengan adanya penyaluran daya listrik ke konsumen, diusahakan energi listrik yang disalurkan dapat diandalkan, sehingga gangguan akibat hal-hal yang tidak di inginkan mungkin saja dapat dikurangi. Hal ini perlu disadari bahwa pengoperasian sistem tenaga listrik tidak selamanya berjalan normal karena masih

banyaknya terjadi berbagai macam gangguan. Sehingga diupayakan berbagai cara untuk menanggulangi berbagai gangguan tersebut agar tercapai keandalan sistem tenaga listrik yang baik.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan di atas maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah :

1. Menentukan perbandingan jumlah gangguan akibat sambaran petir antara SUTM 20 kV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun antara tiang besi dan tiang beton.
2. Bagaimana cara mencari letak lokasi gangguan yang tepat akibat dari sambaran petir pada jaringan distribusi primer 20 kV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun.

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam skripsi ini mencapai sasaran yang diharapkan, maka perlu diberikan batasan, yaitu sebagai berikut :

1. Membahas perbandingan jumlah gangguan akibat sambaran petir secara langsung dan tidak langsung antara SUTM 20 kV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun pada tiang besi dan tiang beton.
2. Pencarian letak lokasi gangguan yang tepat akibat dari sambaran petir pada jaringan distribusi primer 20 kV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun.

3. Perlindungan yang dibahas hanya perlindungan terhadap gangguan akibat sambaran petir.
4. Jenis isolator, kawat tanah, kawat fasa antara tiang besi maupun tiang beton sama.

1.4. Tujuan penulisan

Tujuan dari pembahasan dalam skripsi ini adalah menganalisis kepresisian lokasi gangguan akibat surja petir pada jaringan distribusi 20 kV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun :

1.5. Metodologi

Dalam penyusunan skripsi ini pembahasan dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Studi Literatur, Yaitu mempelajari teori penunjang tentang penentuan letak lokasi gangguan yang tepat akibat sambaran petir pada jaringan distribusi primer 20 kV
2. Survei Lapangan Yaitu melakukan pengamatan dan mencari data – data yang diperlukan di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun yang meliputi :
 1. Data Iso Keraunic Level (IKL) dari Badan Meteorologi dan Geofisika.
 2. Data teknis meliputi : kawat tanah, kawat phasa, isolator, transformator dan tiang beserta pentanahannya.

3. Menganalisis jumlah gangguan petir antara SUTM 20 kV PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun pada tiang besi dan tiang beton.
4. Menganalisis letak lokasi gangguan yang tepat akibat dari sambaran petir pada jaringan distribusi primer 20 kV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun.
5. Menyimpulkan hasil analisis dari skripsi ini.

1.6. Sistematika Pembahasan

Pada pembahasan skripsi ini dibagi menjadi lima bab, dimana secara garis besar sistematika pembahasannya adalah sebagai berikut :

- BAB I** : Menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan metodologi dan sistematika pembahasan.
- BAB II** : Membahas tentang gangguan akibat sambaran petir, dan parameter – parameter tentang kepresisian lokasi surja petir yang menyebabkan gangguan sambaran petir pada SUTM 20 kV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun.
- BAB III** : Membahas tentang teori perhitungan jumlah gangguan petir antara SUTM 20 kV pada tiang besi dan tiang beton, letak lokasi gangguan yang tepat akibat dari sambaran petir pada jaringan distribusi primer 20 kV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun.

BAB IV : Menganalisis jumlah gangguan petir antara SUTM 20 kV pada tiang besi dan tiang beton, serta menganalisis letak lokasi gangguan yang tepat akibat dari sambaran petir pada jaringan distribusi primer 20 kV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun.

BAB V : Berisikan kesimpulan dan saran dari hasil analisis pada skripsi ini.

BAB II

SAMBARAN PETIR PADA JARINGAN DISTRIBUSI

2.1. Gangguan Pada Jaringan Distribusi

Pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) gangguan akibat sambaran petir ada dua macam yaitu sambaran baik secara langsung atau tidak langsung yang biasa disebut sebagai sambaran induksi tidak boleh diabaikan karena gangguan akibat sambaran induksi ini lebih banyak dibandingkan dengan gangguan akibat sambaran petir secara langsung.

Adapun hal – hal tersebut disebabkan oleh :(T.S. Hutauruk, 1985 :170)

1. Karena tingkat ketahanan impuls isolasi $V_{50\%}$ dari isolator SUTM relatif rendah. Misalnya isolator 20 kV mempunyai ketahanan impuls isolasi $V_{50\%} = 160$ kV dan ini rendah.
2. Karena luasnya daerah sambaran induksi, jadi jumlah sambaran kilat induksi juga jauh lebih banyak dibanding dengan jumlah sambaran langsung.

Dimana besar surja tegangan yang timbul menyamai atau melebihi ketahanan impuls isolasi $V_{50\%}$ maka diasumsikan terjadi lompatan api pada isolator, dan selanjutnya tergantung dari besar probabilitas peralihan dari lompatan api menjadi busur api diperoleh jumlah gangguan saluran.

Gangguan kilat pada saluran udara tegangan menengah dibedakan menjadi dua macam gangguan menurut cara terjadinya sambaran, yaitu sambaran petir secara langsung dan secara tidak langsung atau induksi. Sebagaimana diketahui panjang gawang saluran udara tegangan menengah berkisar antara 40 m sampai

80 m, tetapi pengetanahan tiang dilakukan selang 3 sampai 4 gawang, yaitu untuk saluran dengan kawat tanah atau kawat netral. Jadi sambaran langsung dianggap semua pada tiang, baik pada tiang yang diketanahkan maupun pada tiang yang tidak diketanahkan dengan jumlah sambaran yang dianggap sama.

2.2. Proses Terjadinya Petir

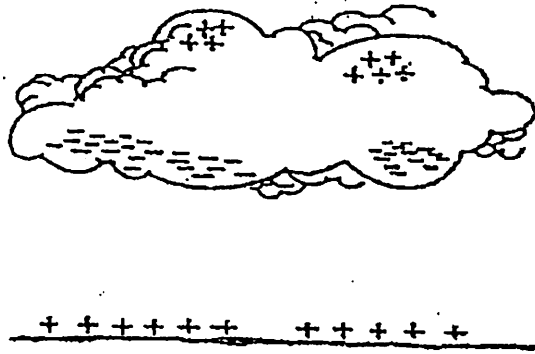
Awan terdiri dari daerah yang bermuatan positif dan negatif dimana pusat muatan ini menginduksikan muatan berpolaritas berlawanan ke awan terdekat atau ke bumi. Gradien potensi di udara antara pusat – pusat muatan di awan atau antara awan dan bumi tidak seragam tapi gradien tersebar timbul pada bagian muatan tinggi. Dimana konsentrasi muatan tertinggi dan gradien tegangan tinggi dari awan ke bumi, timbul muatan pelepasan yang secara umum terjadi di awan. Ketika gradien mencapai batas untuk udara di daerah konsentrasi tinggi mengionisasi atau tembus (break down).

Muatan dari pusat muatan mengalir ke dalam kanal terionisasi, mempertahankan gradien tegangan tinggi pada ujung kanal dan melanjutkan proses tembus listrik. Formasi suatu sambaran petir berikutnya adalah tembus listrik progresif pada jalur busur api lebih kecil dari pada tembus listrik sesaat dan komplit di udara sepanjang kanal. Sambaran petir ke bumi, seperti diperlihatkan pada gambar 2.1a. Lidah arah bawah menyebar dari awan ke arah bumi, seperti pada gambar 2.1b. Jika pusat muatan kecil, semua muatan bisa saja dilepaskan selama lidah utama (pilot leader) terbentuk dan sambaran tidak lengkap. Ketika sambaran lengkap, muatan kecil tampaknya di kosongkan akibatnya lidah petir juga berhenti. Begitu pusat muatan baru terbentuk dan lidah terbentuk lagi secara

cepat. Begitu lidah mendekati bumi, sambaran ke arah atas terbentuk, biasanya dari tertinggi di sekitarnya bila lidah petir ke arah atas dan ke arah bawah bertemu seperti gambar 2.1c. Suatu hubungan awan ke bumi dan energi muatan awan dilepaskan ke dalam tanah. Muatan – muatan dapat terinduksi ke jaringan listrik yang ada di sekitar sambaran petir ke tanah. Walaupun muatan awan dan bumi di netralisir lewat jalur awan ke tanah, muatan dapat terjebak pada jaringan listrik, seperti terlihat pada gambar 2.1d. Besar muatan yang terjebak ini bergantung pada gradien mula awan ke bumi dan kedekatan sambaran jaringan. Tegangan terinduksi pada jaringan listrik dari sambaran ke tempat jauh, akan menjalar sepanjang jaringan dalam bentuk gelombang berjalan sampai dihilangkan oleh pengurangan (attenuasi), kebocoran, isolator rusak/pecah, atau arrester beroperasi. Bila sambaran langsung ke jaringan listrik, tegangan naik secara cepat pada titik kontak. Tegangan ini juga menjalar dalam bentuk gelombang berjalan dalam dua arah dari titik sambaran, berusaha menaikkan potensial jaringan terhadap tegangan lidah petir ke arah bawah.

Tegangan ini melampaui ketahanan tegangan jaringan terhadap tanah dari isolasi sistem dan jika tidak cukup dilengkapi dengan pengamanan tegangan lebih, dapat mengawali kerusakan isolasi. Tegangan yang dihasilkan oleh sambaran petir secara karakteristik naik mencapai nilai puncak secara cepat dan kemudian menurun menuju nol pada laju yang sangat lambat. Waktu untuk tegangan mencapai puncak biasanya beberapa mikro detik atau kurang. Waktu ekor gelombang dapat mencapai 10 atau ratusan mikro detik. Ketika lidah sambaran mendekati penghantar, terjadi induksi muatan. Ketika lidah ini mendekati

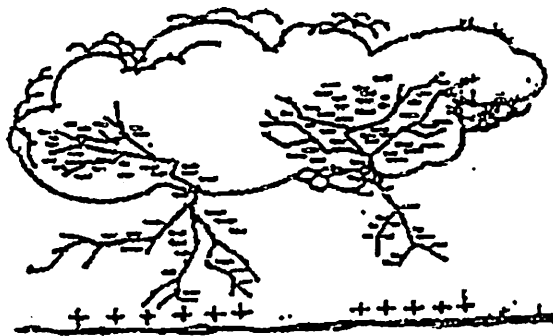
penghantar pada kecepatan 0,3048 m/mikro detik, terjadi kenaikan tegangan induksi. Proses terjadinya sambaran petir dapat dilihat pada gambar 2.1a sampai 2.1d berikut ini :



Gambar 2.1a.

Muatan sepanjang pinggir awan menginduksi muatan awan ke bumi

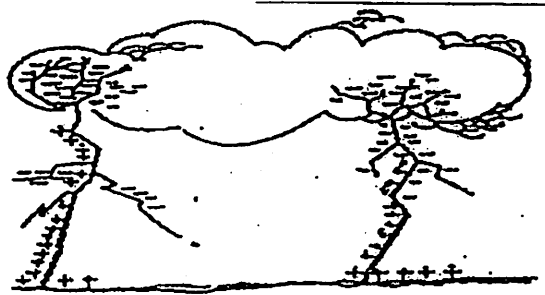
Sumber : PT. PLN, 1997 : 6



Gambar 2.1b.

Lidah petir menjalar ke arah bumi

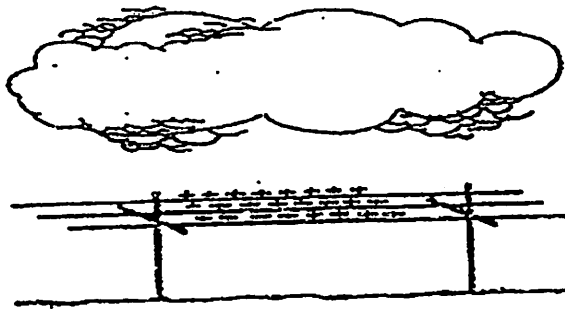
Sumber : PT. PLN, 1997: 6



Gambar 2.1c.

Kilat sambaran dari bumi ke awan

Sumber : PT. PLN, 1997: 6



Gambar 2.1d.

Kumpulan muatan pada jaringan transmisi

Sumber : PT. PLN, 1997: 6

Ada 2 macam proses terjadinya sambaran petir yang mengenai jaringan udara tegangan menengah maupun yang mengenai peralatan yaitu sambaran petir secara langsung maupun sambaran petir tidak langsung atau induksi.

(T.S. Hutauruk, 1985 :171)

1. Sambaran Langsung

Yang dimaksud dengan sambaran langsung adalah apabila kilat menyambar langsung pada kawat fasa (untuk saluran tanpa kawat tanah) atau pada kawat tanah (untuk saluran dengan kawat tanah). Pada saluran

udara tegangan menengah diasumsikan bahwa pada saluran dengan kawat tanah tidak ada kegagalan perisaian. Asumsi ini dapat dibenarkan karena tinggi kawat diatas tanah relatif rendah (10 -13 m) dan juga karena dengan sudut perisaian yang biasanya lebih kecil 60° sudah dapat dianggap semua sambaran kilat mengenai kawat tanah, jadi tidak ada kegagalan perisaian.

Pada waktu kilat menyambar kawat tanah atau kawat phasa akan timbul arus besar dan sepasang gelombang berjalan yang merambat pada kawat. Arus yang besar ini dapat membahayakan peralatan – peralatan yang ada pada saluran. Besarnya arus atau tegangan akibat sambaran ini tergantung pada arus kilat, waktu muka dan jenis tiang saluran oleh karena saluran udara tegangan menengah tidak begitu tinggi diatas tanah, maka jumlah sambaran langsungpun rendah. Makin tinggi tegangan sistem makin tinggi tiangnya dan makin besar jumlah sambaran keseluruhan itu.

2. Sambaran Tidak Langsung atau Sambaran Induksi

Bila terjadi sambaran kilat ke tanah didekat saluran maka akan terjadi fenomena transient yang diakibatkan oleh medan elektro magnetis dari kanal kilat. Fenomena kilat ini terjadi pada kawat penghantar. Akibat dari kejadian ini timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat ditempat sambaran berlangsung.

Fenomena transient pada kawat berlangsung hanya di bawah pengaruh gaya yang memaksa muatan – muatan bergerak sepanjang hantaran. Atau dengan perkataan lain transient dapat terjadi dibawah pengaruh komponen vektor kuat medan yang berarah sejajar dengan arah

penghantar. Jadi bila komponen vektor dari kuat medan berarah vertikal dia tidak akan mempengaruhi atau menimbulkan fenomena transient pada penghantar.

2.3. Komponen Saluran Udara Tegangan Menengah

Berbagai komponen – komponen utama dari saluran udara tegangan menengah (SUTM) antara lain :

2.3.1. Tiang

Tiang listrik adalah salah satu komponen utama dari jaringan listrik tegangan rendah dan tegangan menengah yang menyangga hantaran listrik serta perlengkapannya, yang pemakaiannya tergantung dari keadaan lapangan. Pada jaringan distribusi primer 20 kV di PT. PLN (Persero) distribusi Jawa Timur area Madiun menggunakan dua macam tiang yaitu tiang beton dan tiang baja.

2.3.1.1. Tiang Beton

Ada dua jenis penampang tiang beton yaitu : (PT. PLN, 1997: 14)

1. Tiang Beton Penampang O

Tiang beton berpenampang bulat adalah tiang beton praktekan atau praktekan dan bertulang berpenampang bulat konis berongga di tengahnya dengan peruncingan (taper) normal 1/75.

2. Tiang Beton Penampang H

Tiang beton penampang H adalah tiang beton praktekan berpenampang H disepanjang kira – kira $\frac{5}{6}$ sepanjang tiang bagian bawah dan berpenampang segi empat dibagian atasnya dengan peruncingan (taper) 1/75.

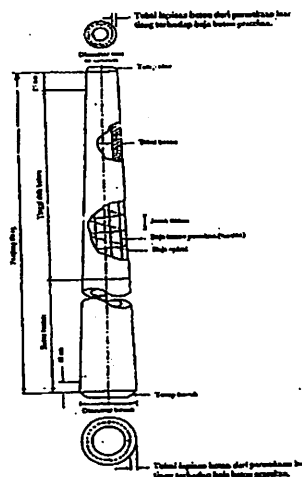
Keuntungan tiang beton adalah :

- a. Pemeliharaan praktis nol
- b. Keluaran puncak sangat besar
- c. Umur praktis tidak terbatas

Kerugian tiang beton adalah :

- a. Rapuh (gampang pecah dan patah)
- b. Karena berat, untuk daerah yang sukar/ berbukit sulit dipasang
- c. Mengangkut dan memindahkan sukar
- d. Mendirikan dan menanam memerlukan keahlian serta memerlukan alat – alat khusus

Tiang beton yang digunakan di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun adalah tiang beton dengan tinggi 11 meter dapat dilihat pada gambar 2.2. berikut ini :



Gambar 2.2.

Tiang Beton 20 kV yang digunakan pada PT.PLN Distribusi
Jawa Timur area Madiun

Sumber : PT. PLN, 1997 : 16

2.3.1.2. Tiang Besi

Keuntungan tiang besi adalah : (PT. PLN, 1997: 14)

- a. Ringan, sehingga mudah penggunaannya
- b. Ukuran lebih kecil dari tiang kayu maupun dari tiang beton

Kerugian tiang besi adalah :

- a. Mudah berkarat oleh karenanya pemeliharanya mahal, umpamanya harus disikat dan dicat tiap tahun
- b. Harganya mahal

Tiang besi yang digunakan di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun adalah tiang besi dengan tinggi 13 meter dapat dilihat pada gambar 2.3. berikut ini :



Gambar 2.3.

Tiang Besi 20 kV yang digunakan pada PT. PLN Distribusi
Jawa Timur area Madiun

Sumber : PT. PLN, 1997 : 12

2.3.2. Isolator

Isolator adalah suatu bahan atau alat –alat bantu listrik yang mempunyai sifat mengisolasi tegangan atau arus listrik. Artinya suatu benda yang mempunyai tahanan listrik yang sangat besar.

2.3.2.1. Fungsi Isolator

Fungsi isolator dapat ditinjau dua segi yaitu : (PT. PLN, 1997: 1)

a. Fungsi dari segi listrik

1. Untuk menyekat mengisolasi antara kawwat phasa dengan tanah
2. Untuk menyekat/mengisolasi antara kawat phasa dengan kawat phasa

b. Fungsi dari segi mekanik

1. Penahan berat dari penghantar/kawat
2. Mengatur jarak dan sudut antar penghantar/kawat tanah
3. Menahan adanya perubahan kawat akibat perbedaan temperatur dan angin

2.3.2.2. Bahan dan Bentuk Isolator

Bahan yang digunakan untuk membuat isolator yang paling banyak digunakan pada sistem tegangan menengah antara lain :

(PT. PLN, 1997: 1)

1. Porselin yang diglazur dengan warna coklat/putih
2. Gelas

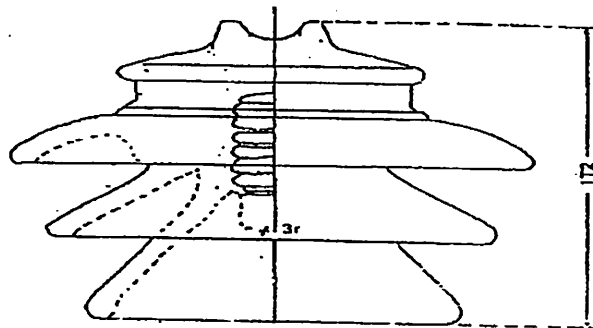
Menurut bentuknya isolator untuk saluran udara tegangan menengah dibedakan atas: (PT. PLN, 1997: 1)

- a. Isolator pasak / tumpu atau isolator pin

Untuk pemasangan harus dilengkapi dengan kaki pin/pasak yang disekrupkan pada suatu katup (cap, thimble) yang dicor pada bagian bawahnya. Isolator ini mempunyai kekuatan mekanis yang rendah digunakan pada :

1. Tiang tumpu (lintasan lurus)
2. Tiang dengan sudut kecil

Dalam hal ini isolator yang digunakan pada PT. PLN Distribusi Jawa Timur area Madiun adalah isolator jenis pasak -15 kV Charbonneaux.



Gambar 2.4.

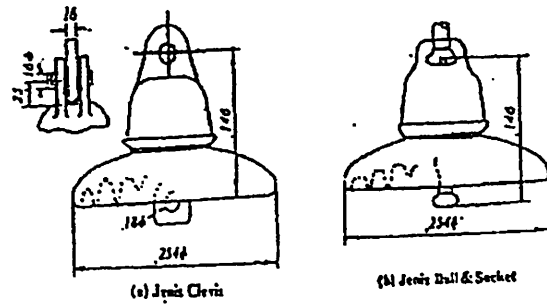
Isolator Jenis Pasak 15 kV Charborneaux

Sumber : PT. PLN, 1997 : 12

b. Isolator gantung (Suspension Isolator)

Isolator gantung terdiri atas piringan – piringan isolator yang dapat saling digabungkan. Jumlah piringan tergantung pada kebutuhan isolasi karena tegangannya. Cara penggabungan piringan – piringan isolator dilakukan dengan dua cara :

1. Cara ball and socket
2. Cara Clevis



Gambar 2.5.
Isolator Gantung

Sumber : PT. PLN, 1997 : 19

c. Isolator tarik (Strain Insulator)

Digunakan untuk menahan gaya tarik kawat :

Dipasang pada tiang – tiang :

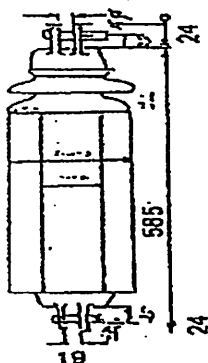
1. Tiang Awal/Akhir
2. Tiang Sudut
3. Tiang Perenggang/Tarik

d. Isolator telur (egg insulator)

Digunakan untuk mengisolasi kawat tambat logam bilamana tang atau kawat tidak tambat cukup dibumikan.

e. Isolator batang panjang (long rod insulator)

Dipakai ditempat dimana tingkat polusi akibat pengotoran udara karena debu dan garam banyak terjadi.

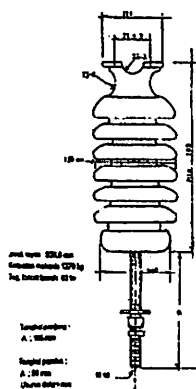


Gambar 2.6.
Isolator Batang Panjang

Sumber : PT. PLN, 1997 : 19

f. Isolator post saluran (line post insulator)

Mempunyai juga pasak seperti pada pin isolator



Gambar 2.7.
Isolator Post Saluran

Sumber : PT. PLN, 1997 : 13

2.3.3. Konduktor

Konduktor berfungsi untuk menghantarkan arus dari suatu bagian instalasi ke bagian lain instalasi. Konduktor yang digunakan sebagai penghantar untuk saluran udara harus mempunyai sifat antara lain : (PT. PLN, 1997: 1)

1. Mempunyai konduktivitas atau daya hantar listrik yang tinggi

2. Mempunyai kekuatan tarik yang tinggi
3. Mempunyai berat jenis yang rendah
4. Mempunyai fleksibilitas yang tinggi
5. Tidak rapuh
6. Tidak murah

Jenis Bahan Konduktor : (PT. PLN, 1997:1)

1. Kawat logam biasa
2. Kawat logam campuran (Alloy)
3. Kawat logam paduan
4. Kawat lilit campuran
5. Tembaga

Dengan memberikan campuran logam lain kekuatan tarik aluminium dapat diangkat hampir 2 kali dengan berat tidak berbeda dengan aluminium. Mengingat harga tembaga per kg lebih mahal dari aluminium, maka penggantian aluminium dengan tembaga sangat menguntungkan secara ekonomis dan karakteristik jaringannya pun tidak banyak dipengaruhi. Adapun penghantar yang digunakan adalah jenis AAAC yaitu berupa konstruksi penghantar udara campuran aluminium telanjang.

Tabel 2.1.
Konstruksi Penghantar Udara Campuran
Aluminium Teltanjang (AAAC)

Luas penampang Nominal (mm ²)	Luas penampang Sebenarnya (mm ²)	Jumlah kawat	Diameter Kawat campuran aluminium nominal (mm)	Diameter penghantar nominal (mm)	Berat penghantar kira-kira kg/km	Kuat tarik putus Penghantar (N)
1	2	3	4	5	6	7
16	16.84	7	1.75	5.25	46	4.700
50	49.70	7	3.0	9.0	135	13.850
50	45.70	19	1.75	8.75	126	12.750
70	75.55	19	2.25	11.25	206	21.100
95	93.27	19	2.5	12.5	256	26.100
120	112.85	19	2.75	13.75	310	31.550
150	167.11	37	2.75	15.75	406	41.100
185	181.62	61	2.5	17.5	501	50.750
240	242.54	61	2.25	20.23	670	67.750
300	299.43	61	2.5	22.5	827	81.700
400	431.18	61	3.0	27.0	1195	120.550
500	506.24	61	3.25	29.25	1402	141.400
630	643.24	91	3.0	33.0	1782	179.750
800	754.91	91	3.25	35.75	2092	211.000
1000	10005.06	91	3.75	41.25	2785	280.850

Sumber : PT. PLN, 1997 : 6

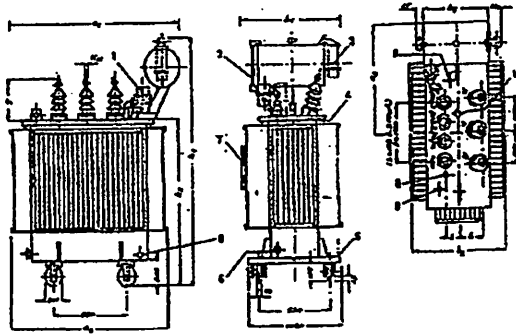
2.3.4. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektro magnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

(PT. PLN, 1997: 1)

1. Transformator Daya
2. Transformator Distribusi
3. Transformator Pengukuran yang terdiri atas transformator arus dan transformator tegangan.



Gambar 2.8.

Konstruksi Trafo Distribusi

Sumber : PT. PLN, 1997 : 8

Keterangan gambar :

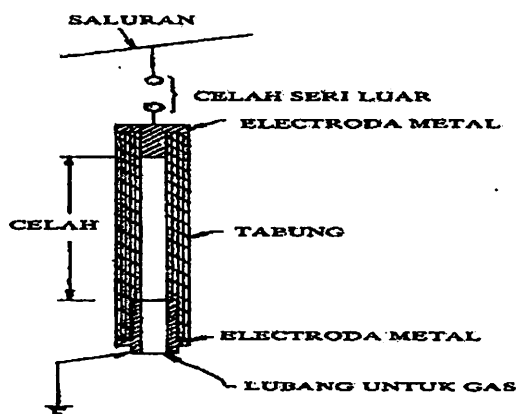
1. Rele buchholz
2. Indikator tinggi permukaan minyak
3. Penapas pengering
4. Lobang untuk pembukaan
5. Lobang untuk penarikan
6. Sumnat untuk pengeluaran minyak
7. Pelat nama
8. Apitan untuk hubungan tanah
9. Kantong termometer
10. Alat untuk merubah kedudukan tap

2.3.5. Arrester

Arrester sering juga dianggap sebagai penangkap petir karena arrester sebagai pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap arus atau tegangan surja petir yang berfungsi sebagai alat untuk (by- pass) atau meneruskan ke tanah. Arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat, sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan. Jalan pintas itu harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran arus daya sistem 50 Hz.

Jadi pada kerja normal arrester ini berlaku sebagai isolator dan bila timbul surja, arrester akan berlaku sebagai konduktor jadi melewatkan aliran arus yang tinggi. Setelah surja hubung hilang arrester harus dapat dengan cepat kembali menjadi isolator sehingga pemutus daya tidak sempat membuka. Adapun jenis arrester yang biasa digunakan adalah sebagai berikut : (T.S. Hutauruk, 1985 :102)

1. Arrester jenis ekspulsi atau tabung pelindung pada prinsipnya terdiri dari sela percik yang berada dalam tabung serat dan sela percik batang yang berada di luar di udara atau disebut dengan sela seri.

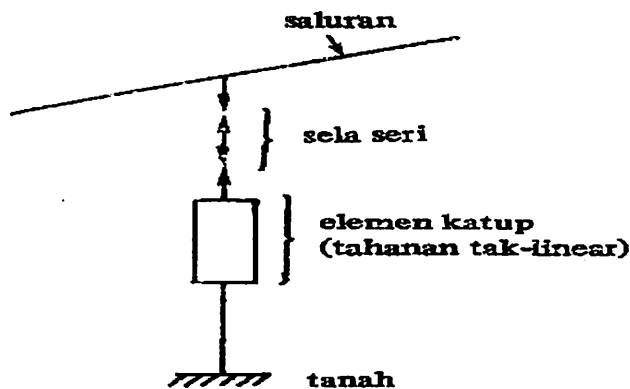


Gambar 2.9.

Arrester Jenis Ekspulsi

Sumber : T.S. Hutauruk, 1985 :102

2. Arrester jenis katup terdiri dari sela percik terbagi atau sela seri yang dihubung dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tidak linier. Jenis katup ini meliputi :
 1. Arrester jenis katup gardu dimana jenis ini yang paling efisien dan juga paling mahal dimana pemakaiannya secara umum pada gardu induk besar pada rangkaian mulai dari 2.400 volt sampai 287 kV.
 2. Arrester katup jenis saluran digunakan pada gardu induk untuk melindungi peralatan yang kurang penting dipakai pada sistem dengan tegangan 15 kV sampai 69 kV.



Gambar 2.10.

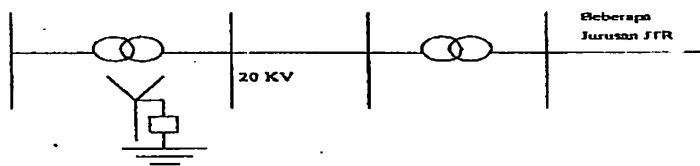
Arrester Jenis Katup

Sumber : T.S. Hutaeruk, 1985 :103

2.3.6. Pentanahan

Sistem pentanahan jaringan distribusi tegangan menengah yang mempunyai arus pengisian lebih besar dari 5,5 A harus ditanahkan, pentanahan tersebut fungsinya untuk mencegah terjadinya tegangan lebih peralihan yang

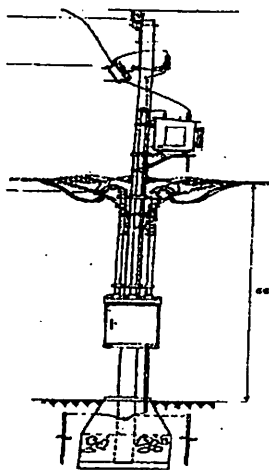
besar yang disebabkan oleh busur listrik. Dengan pentanahan tersebut akan diperoleh arus gangguan tanah yang besarnya tergantung impedansi pentanahan, sedemikian rupa sehingga alat – alat pengaman dapat bekerja selektif tetapi tidak merusak peralatan dititik gangguan. Bagian yang ditanahkan adalah titik netral , trafo utama dan kawat netral sepanjang jaringan tegangan menengah. Sistem sederhana pentanahan dapat dilihat pada gambar 2.11. berikut ini :



Gambar 2.11.
Sistem sederhana Pentanahan

Sumber : PT. PLN, 1997 : 1

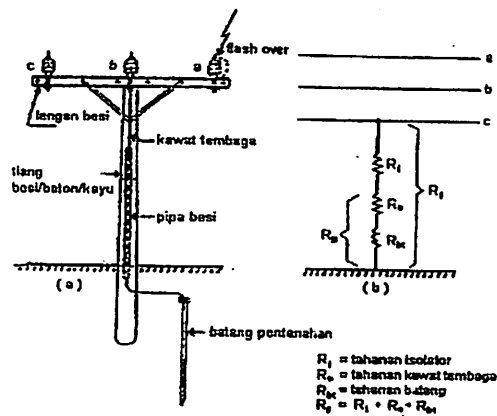
Sistem pentanahan pada trafo untuk saluran udara tegangan menengah dapat dilihat pada gambar 2.12. berikut ini .



Gambar 2.12.
Sistem Pentanahan Pada Trafo

Sumber : PT. PLN, 1997 : K202

Sedangkan untuk pentanahan pada tiang distribusi dapat dilihat pada gambar 2.13. berikut ini :



Gambar 2.13.

Pentanahan Pada Tiang Distribusi

Sumber : PT. PLN, 1997 : 5

Pentanahan pada arus gangguan tanah yang besarnya tergantung impedansi pentanahan, sedemikian rupa sehingga alat-alat pengaman dapat bekerja selektif tetapi tidak merusak peralatan di titik gangguan. Sedangkan gambar batang pentanahan dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14.

Batang pentanahan

Sumber : PT. PLN, gambar konstruksi jaringan distribusi :36

Untuk tegangan menengah menggunakan 2,5 meter, Earthing rod 16 mm sedangkan untuk tegangan rendah menggunakan 1,5 meter, Earthing rod 16 mm.

Macam – macam pentanahan : (PT. PLN, 1997 : 2)

1. Pentanahan netral dengan tahanan tinggi dimaksudkan untuk memperoleh hasil optimum dengan mengutamakan keselamatan umum, sehingga lebih layak memasuki daerah perkotaan dengan SUTM.
2. Pentanahan netral dengan tahanan rendah dimaksudkan untuk memperoleh hasil optimum dari kombinasi antar faktor ekonomi keselamatan umum dan layak untuk mempergunakan STUM bagi daerah luar kota maupun SKTM bagi daerah padat dalam kota.
3. Pentanahan netral dengan tahanan langsung dimaksudkan untuk memperoleh hasil optimum dengan mengutamakan ekonomi sehingga dengan SUTM layak dipakai di daerah luar kota sampai di daerah terpencil.

BAB III
PENENTUAN LOKASI GANGGUAN AKIBAT SAMBARAN PETIR
PADA SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH

3.1. Gangguan Petir Pada Saluran Udara Tegangan Menengah

Pada saluran udara tegangan menengah gangguan kilat akibat sambaran petir baik secara langsung maupun tidak langsung dapat menyebabkan terganggunya sistem pada saluran. Dimana gangguan ini dapat mengakibatkan pemutusan aliran daya sementara atau permanen. Jadi jumlah gangguan petir pada saluran udara tegangan menengah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :
(T.S. Hutauruk , 1991 : 170)

$$N_o = N_i + N_l \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana :

N_o = Jumlah total gangguan petir

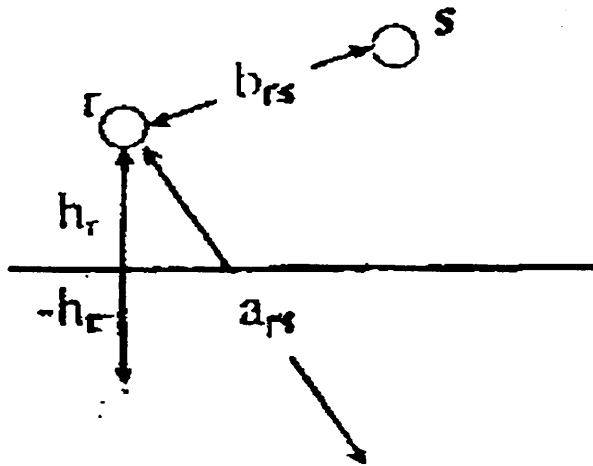
N_i = Jumlah gangguan akibat sambaran induksi

N_l = Jumlah gangguan akibat sambaran langsung

3.2. Impedansi Surja

3.2.1. Impedansi Surja sendiri

Untuk sebuah sistem dengan konduktor-konduktor silinder yang paralel satu sama lain dimana pengaruh dari ujung-ujungnya diabaikan (karena sangat panjang), serta jarak-jaraknya jauh lebih besar dari jari-jari konduktor. bila konduktor-konduktor itu berada diatas bidang potensial dapat dicari dengan metode pencerminan yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1
Sekelompok kawat dengan bayangannya

Sumber : T.S. Hutaeruk , 1991 : 66

Dimana , r = jari - jari konduktor r , meter.

h_r = tinggi konduktor r di atas bidang potensial s , meter.

a_{rs} = jarak antara r dan bayangan s , meter.

b_{rs} = jarak antara r dan s , meter.

Impedansi surja sendiri dari suatu penghantar udara tunggal terhadap tanah dapat dinyatakan sebaga berikut :

$$Z_{rs} = 60 \ln \frac{2h_r}{r} \text{ ohm} \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana, $c = 3 \times 10^{10} \text{ cm / detik}$

3.2.2. Impedansi Surja bersama

Untuk menentukan impedansi bersama sekumpulan konduktor yang dilalui gelombang surja dengan kecepatan $V=C$ (kecepatan cahaya $3 \times 10^{10} \text{ cm/detik}$) yang paralel dengan permukaan tanah digunakan :

$$Z_{rs} = 60 \ln \frac{a_{rs}}{b_{rs}} \dots\dots\dots 3.3$$

3.3. Perlindungan SUTM Terhadap Sambaran Petir

Tidak semua sambaran kilat yang mengenai saluran mengakibatkan lompatan api (flash over) pada isolasi saluran. Demikian juga tidak semua lompatan api yang timbul dapat beralih menjadi busur api (power arc) yang dapat menyebabkan pemutusan aliran daya. Gradien tegangan sepanjang isolator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini : (T.S. Hutauruk , 1991 : 139)

$$E_o = \frac{V_1}{\sqrt{3} \cdot l} \dots\dots\dots 3.4$$

Dimana :

E_o = Gradien tegangan, kV/meter

V_1 = Tegangan kerja sistem, kV

l = Panjang isolator, meter

Tabel 3.1

Probabilitas Peralihan Lompatan Api Menjadi Busur Api

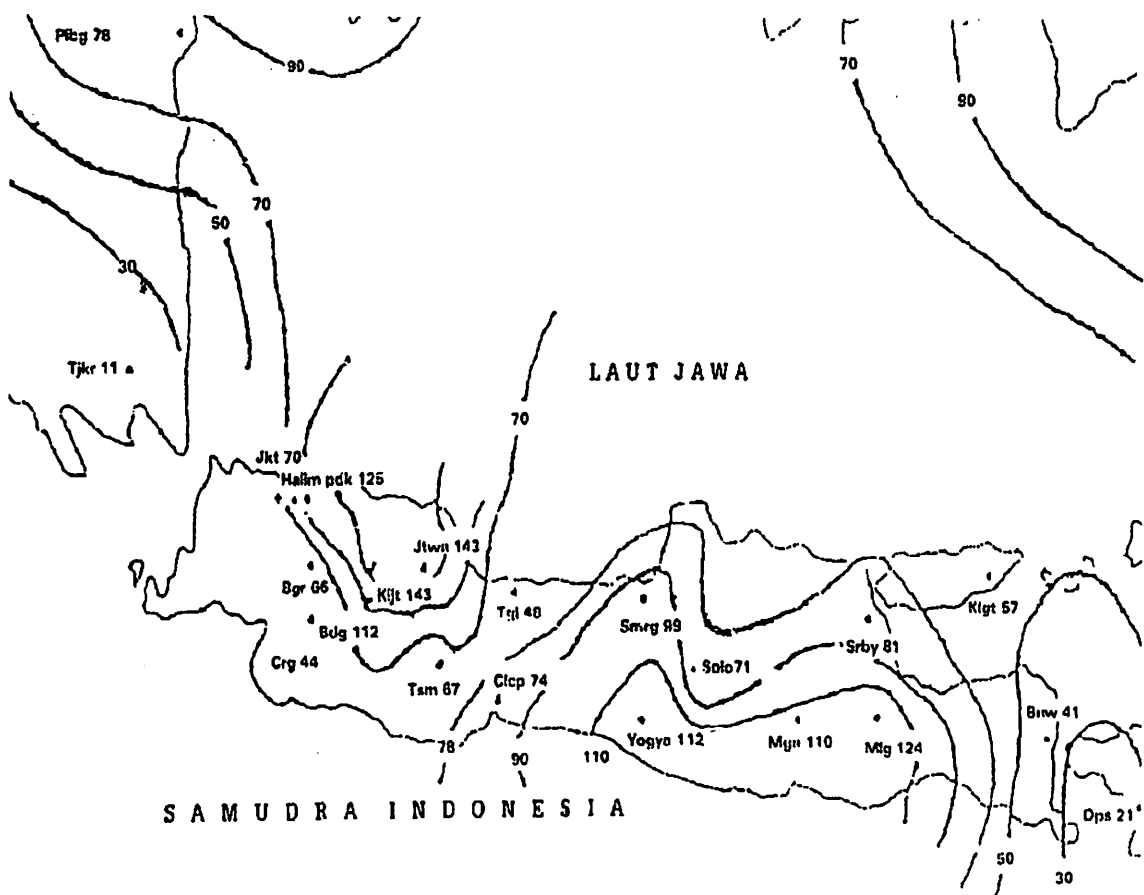
Gradien Tegangan E_o (kV _{rms} /meter)	Probabilitas Peralihan Lompatan Api Menjadi Busur Api (η)
50	0,6
30	0,45
20	0,25
10	0,10

Sumber : T.S. Hutauruk , 1991 : 137

3.4. Hari Guruh

Salah satu parameter yang di pakai dalam menunjukkan jumlah kejadian petir adalah tingkat hari guruh (*thunderday level*) yaitu hari pada saat itu terdengar guntur minimal satu kali dalam jarak kra-kira 15 km dari stasion pengamatan. Tingkat hari guruh menentukan jumlah sambaran petir ke tanah pada saluran .

Dari data pengamatan yang didapat maka disusun suatu peta yang menunjukkan wilayah dengan jumlah hari guruh tahunannya, yaitu peta isokeraunik level. Untuk wilayah pulau jawa peta isokeraunik level diperlihatkan pada gambar 3.2 berikut in:

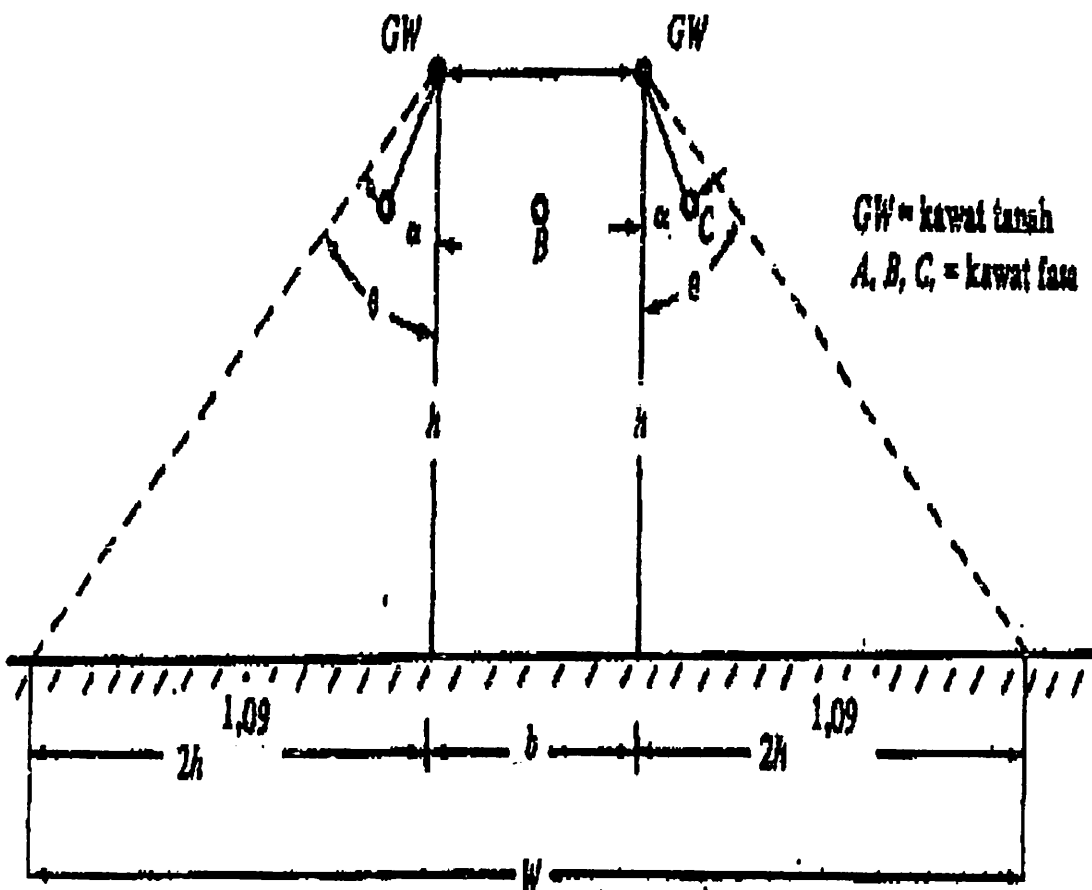


Gambar 3.2
Peta Isokeraunik Level

Sumber : Badan Meteorologi dan Geofisika

3.5. Penangkapan Petir Oleh Saluran

Suatu saluran diatas tanah dapat dikatakan membentuk bayang-bayang listrik pada tanah yang berada dibawah saluran tersebut. Petir yang biasa menyambar tanah dalam bayang-bayang itu akan menyambar saluran sebagai gantinya, sedangkan petir yang berada diluar bayang-bayang itu sama sekali tidak menyambar saluran. Lebar bayang-bayang listrik untuk suatu saluran telah diberikan oleh Whitehead seperti pada gambar 3.3 berikut ini :



Gambar 3.3

Lebar Bayang – bayang Listrik dibawah Saluran

Sumber : Hutauruk, TS,1991 :134

Jadi luas bayang-bayang untuk 100 km panjang saluran :(T.S.Hutauruk,1991:135)

$$A = 0,1(b + 4h^{1.09}) \text{ km}^2 \text{ per } 100 \text{ km saluran} \dots\dots\dots 3.5$$

Dimana : b = Jarak pemisah antara dua kawat tanah (meter)

 Bila kawat tanah hanya satu, b = 0

 h = Tinggi rata-rata kawat tanah diatas tanah

3.6. Jumlah Sambaran Petir

3.6.1. Jumlah Sambaran Petir ke Tanah

Jumlah sambaran petir ke tanah adalah sebanding dengan dengan jumlah hari guruh pertahun di tempat itu. Banyak para peneliti yang telah mengemukakan rumus untuk menyatakan hubungan ini. Untuk Indonesia menggunakan persamaan sebagai berikut : (T.S. Hutauruk, 1991 :136)

$$N = 0,15 \times \text{IKL} \dots\dots\dots 3.6$$

Dimana :

N : Jumlah sambaran per km² per tahun

IKL : Jumlah hari guruh per tahun

3.6.2. Jumlah Sambaran Petir ke Saluran

Jumlah sambaran petir ke saluran sebanding dengan luas bayang – bayang listrik yang dibentuk oleh saluran. Sehingga jumlah sambaran petir (N_L) pada saluran sepanjang 100 km adalah sebagai berikut : (T.S. Hutauruk, 1991 :184)

$$N_L = 0,015 \cdot \text{IKL}(b + 4h^{1.09}) \dots\dots\dots 3.7$$

3.7. Jumlah Gangguan Pada Saluran

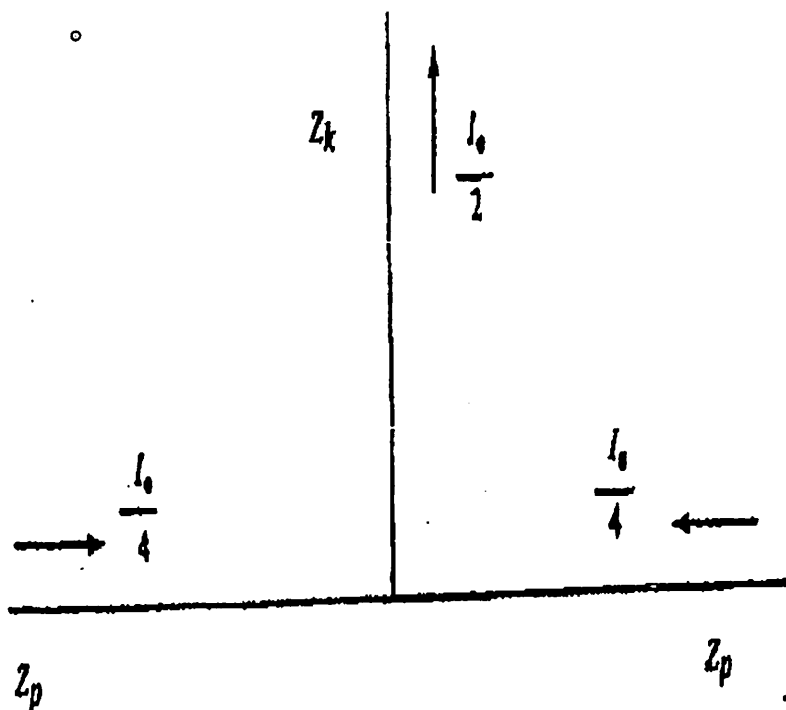
3.7.1. Jumlah Gangguan Akibat Sambaran Langsung

Jumlah gangguan akibat sambaran petir secara langsung (N_L) untuk SUTM yang menggunakan kawat tanah dan tanpa kawat tanah.

3.7.1.1. Saluran tanpa kawat tanah

Pada saluran tanpa kawat tanah, hampir semua sambaran kilat mengenai kawat dan sangat jarang mengenai tiang. Jadi dalam pembahasan ini diasumsikan semua sambaran mengenai kawat.

Distribusi arus kilat pada tempat sambaran dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.4

Distribusi Arus Kilat bila Menyambar Kawat

Sumber : Hutaaruk, TS, 1991 : 183

Probabilitas arus sama atau melebihi I_0 atau probabilitas terjadinya lompatan api dinyatakan oleh Popolansky dalam persamaan sebagai berikut :

(T.S. Hutauruk, 1991 :183)

$$P_{FL} = e^{-\left(\frac{I_0}{34}\right)} \dots\dots\dots 3.8$$

Sehingga untuk keadaan ini :

$$P_{FL} = e^{-\left(\frac{I_{50\%}}{8.5.Z_p}\right)} \dots\dots\dots 3.9$$

dimana : Z_p = Impedansi surja kawat (Ω)

Z_k = Impedansi surja kanal kilat

I_0 = Besar arus kilat bila kilat menyambar sesuatu obyek dengan tahanan nol (zero resistance ground)

Selanjutnya apabila probabilitas lompatan api menjadi busur api (η) maka jumlah gangguan akibat sambaran langsung (N_l) adalah : (T.S. Hutauruk, 1991 :184)

$$N_t = N_l \cdot P_{FL} \cdot \eta \dots\dots\dots 3.10$$

3.7.1.2. Saluran dengan Kawat Tanah

Dengan mengetahui besar arus minimum yang dapat menimbulkan lompatan api balik (*back flashover*), maka dapat ditentukan probabilitas terjadinya lompatan api (P_{FL}) sebagai berikut : (T.S. Hutauruk, 1991 :191)

$$P_{FL} = e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{(R+\delta h_t)^{34}}\right)} \dots\dots\dots 3.11$$

Dimana : h_t = Tinggi kawat fasa diatas tanah (meter)

$V_{50\%}$ = Ketahanan impuls isolasi (kV)

- R = Tahanan kontak tiang yang diketanahkan, Ω
- δ = Koefisien kawat tanah
 - = 0,3 untuk 1 kawat tanah
 - = 0,15 untuk 2 kawat tanah

3.8. Jumlah Gangguan Akibat Sambaran Induksi

3.8.1. Saluran Tanpa Kawat Tanah

Tegangan induksi suatu kawat yang berjarak y terhadap titik sambaran berbanding lurus dengan impedansi surja udara, arus kilat, dan tinggi kawat diatas tanah.

Probabilitas distribusi arus kilat yang demikian dinyatakan oleh Popolansky dalam persamaan : (T.S. Hutaaruk, 1991 :179)

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{I_0}{34}\right)} \dots\dots\dots 3.12$$

atau,

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot y}{1020 \cdot h_t}\right)} \dots\dots\dots 3.13$$

dimana : h_t = Tinggi kawat fasa diatas tanah, meter.

y = jarak kawat dengan sambaran kilat vertikal, meter.

Sehingga jumlah gangguan pada saluran tanpa kawat tanah karena induksi petir (N_i) dengan probabilitas lompatan api menjadi busur api (η) dapat dinyatakan : (T.S. Hutaaruk, 1991 :193)

$$N_i = 30,6 \cdot IKL \cdot h_t \cdot \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510FP}\right) h_t^{0,09}}}{V_{50\%}} \cdot x \eta \dots\dots\dots 3.14$$

dimana : IKL = Jumlah hari guruh per tahun

h = Tinggi kawat tanah diatas tanah, meter

FP = Faktor perisaian

η = Probabilitas lompatan api menjadi busur api atau gangguan

h_1 = Tinggi kawat fasa diatas tanah, meter

3.8.2. Saluran Dengan Kawat Tanah

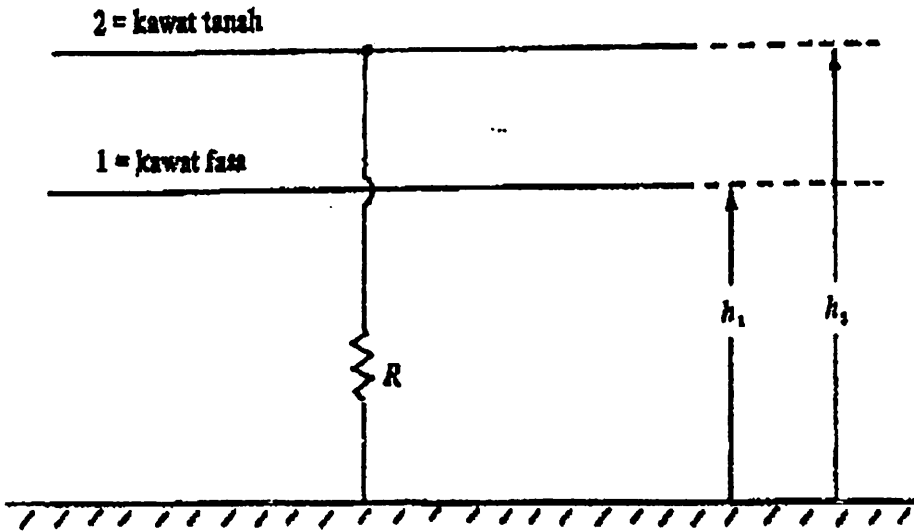
Dalam menghitung pengaruh kawat tanah terhadap tegangan induksi petir, maka diperhitungkan adanya faktor perisaian (FP) yang didefinisikan sebagai hasil bagi tegangan induksi dengan kawat tanah dan tegangan induksi tanpa kawat tanah. Kawat tanah ideal adalah kawat tanah yang memiliki pengetanahan pada setiap titik sepanjang kawat, sehingga potensialnya disepanjang titik adalah nol. Pada kenyataannya tidak ada kawat yang ideal sehingga kawat tanah tersebut memiliki beda potensial tertentu terhadap tanah.

Jumlah gangguan pada saluran dengan kawat tanah karena induksi petir (N_i) dengan probabilitas lompatan api menjadi busur api (η) dapat dinyatakan :

(T.S. Hutauruk, 1991 :193)

$$N_i = 30,6 \cdot IKL \cdot h \cdot \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510FP}\right)h^{0,09}}}{V_{50\%}} \times \eta \dots\dots\dots 3.15$$

Apabila pada suatu saluran terdapat satu kawat tanah dan tahanan kontak tiang sebesar R seperti gambar 3.5 berikut ini :



Gambar 3.5

Saluran dengan satu kawat tanah dan tahanan kontak R

Sumber : T.S. Hutauruk, 1991 :176

Diasumsikan bahwa tidak terjadi pantulan pada ujung saluran. Maka faktor perisaian (FP) dari kawat tanah pada saluran adalah : (T.S. Hutauruk, 1991 :177)

$$FP = 1 - \left(\frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \times \frac{h_2}{h_1} \right) \dots\dots\dots 3.16$$

Dimana : Z_{12} = Impedansi surja bersama kawat fasa dan kawat tanah (Ω)

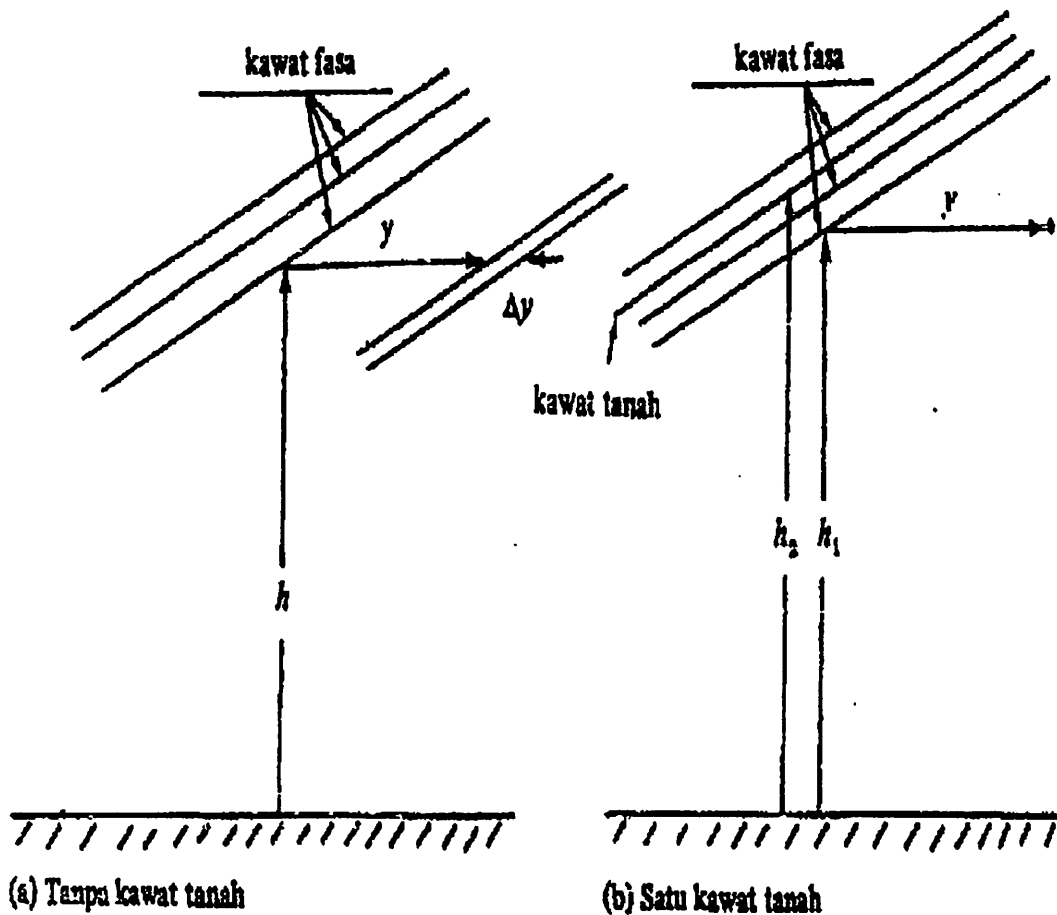
Z_{22} = Impedansi surja kawat tanah (Ω).

h_1 = Tinggi rata – rata kawat fasa 1 diatas tanah (m).

h_2 = Tinggi rata – rata kawat tanah 2 diatas tanah (m).

R = Tahanan kontak ke tanah (Ω).

Apabila suatu kawat setinggi h_1 diatas tanah, dan suatu sambaran kilat vertikal menyambar tanah pada jarak y dari kawat. Besar tegangan induksi pada kawat dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut ini :



Gambar 3.6

Petir menyambar tanah berjarak y dari kawat

Sumber : T.S. Hutauruk, 1991 :178

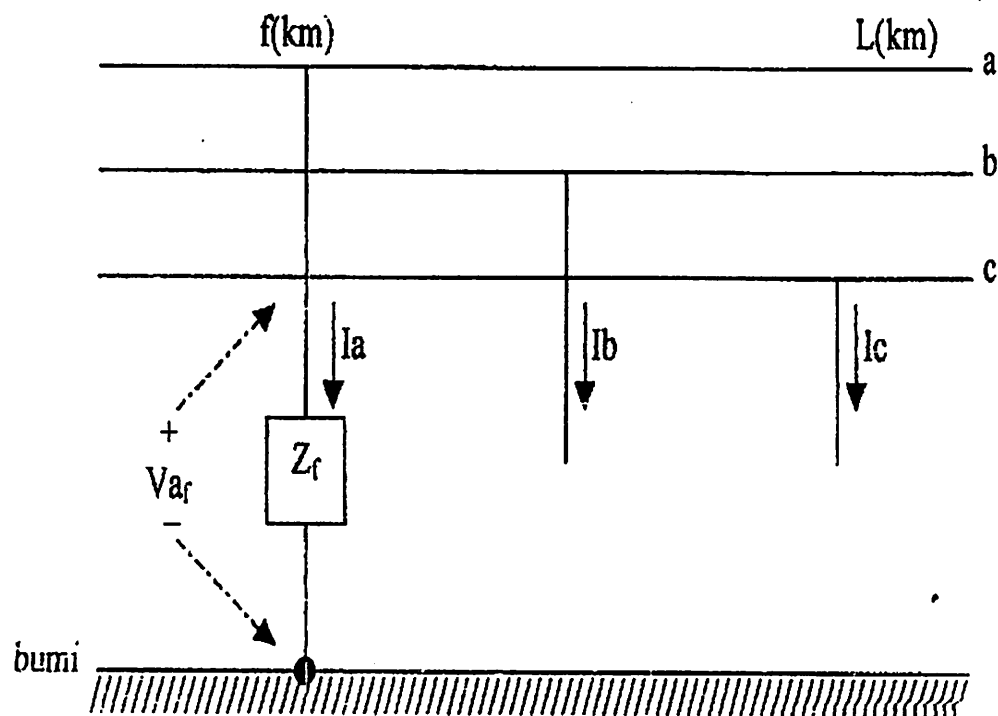
Probabilitas distribusi arus kilat yang demikian dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{I_{50\%} \cdot y}{1020 \cdot h}\right)} \dots\dots\dots 3.17$$

3.9. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Gangguan tunggal dari saluran ke tanah , batang hipotesis dari ketiga saluran dihubungkan seperti terlihat pada Gambar 3.7, dan hubungan jala-jala

urutan untuk gangguan terlihat pada Gambar 3.7, dimana kawat mengalami gangguan satu fasa ketanah dengan jarak f (kilometer).



Gambar 3.7

Gangguan satu fasa ke tanah (gangguan di fasa a) di titik f dengan panjang saluran L (km), Gangguan di titik f (km),

Sumber : Analisa sistim tenaga listrik , William D stevenson, Jr, 1994

Dimana : f = gangguan satu fasa ke tanah di titik f (km).

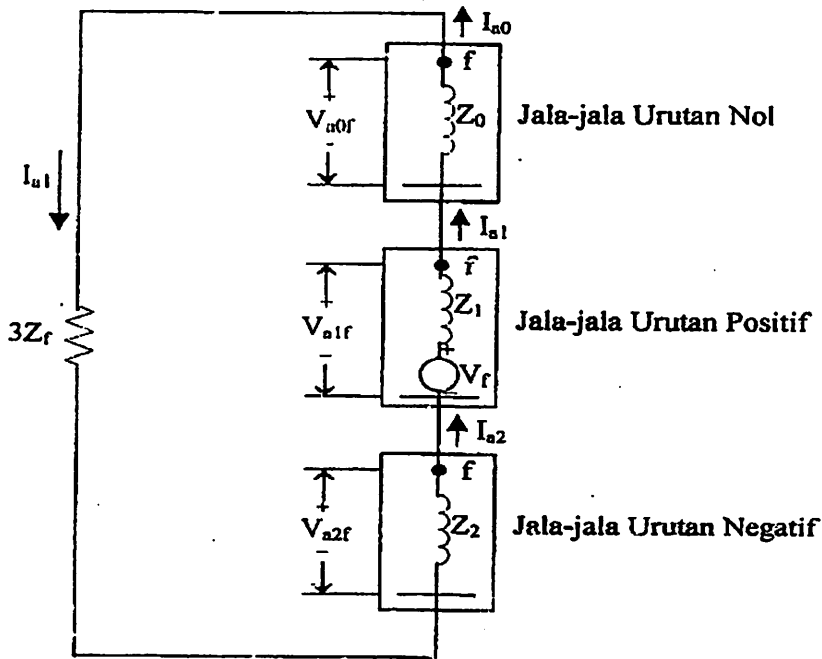
L = panjang saluran distribusi (km).

Z_f = besarnya impedansi gangguan (Ω).

V_{a_f} = Tegangan fasa pada saat gangguan (KV)

Dari Gambar 3.7 dapat dilihat dimana saluran distribusi sepanjang L (km) mengalami gangguan satu fasa ke tanah di titik f (km). dan Z_f adalah besarnya

impedansi gangguan yang besarnya menurut SPLN 64:1985 adalah 0Ω untuk arus gangguan hubung singkat maksimum, dan $Z_f=35\Omega$ untuk arus gangguan hubung singkat minimum.



Gambar 3.8

Hubungan jala-jala Urutan untuk gangguan satu fasa ke tanah

Sumber : Analisa sistim tenaga listrik , William D stevenson,Jr, 1994
 Persamaan keadaan:

$I_b = 0 ; I_c = 0;$

Dengan $I_b = 0$ dan $I_c = 0$ $I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$

Komponen simetris arus diberikan oleh :

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots 3.18$$

Maka:

$I_a = 3I_{a0} = 3I_{a1} = 3I_{a2} \dots\dots\dots 3.19$

Pada gangguan melalui Z_f pengaruh impedansi diperoleh dengan menurunkan persamaan yang serupa dengan persamaan untuk gangguan yang melalui impedansi gangguan nol

($Z_f = 0$), maka besar I_{a1} ;

$$\begin{bmatrix} V_{a_{0f}} \\ V_{a_{1f}} \\ V_{a_{2f}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{0f} \\ Vf \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{0f} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{1f} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{2f} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{a1} \\ I_{a1} \\ I_{a1} \end{bmatrix} \dots\dots\dots 3.20$$

$$Z_{0f} = Z_{0f} \dots\dots\dots 3.21$$

$$Z_{1f} = Z_{1f} \dots\dots\dots 3.22$$

$$Z_{2f} = Z_{2f} \dots\dots\dots 3.23$$

Dengan menggantikan I_{a0} , I_{a2} dengan I_{a1} kita dapatkan

$$I_{a1} = \frac{Vf}{Z_{1f} + Z_{2f} + Z_{0f}} \dots\dots\dots 3.24$$

Dan untuk memperhitungkan impedansi Z_f pada netral sisi sumber kita tambahkan $3Z_f$ Pada jaringan urutan nolnya. (sumber : ASTL, William D Stevenson) maka;

$$I_{a1} = \frac{Vf}{Z_{1f} + Z_{2f} + Z_{0f} + 3.Z_f} \dots\dots\dots 3.25$$

- Dimana $I_{a1} = I_0$ = Arus urutan dititik garangguan (A)
- I_a = Arus di titik gangguan dan yang dilihat dilihat dari pusat distrbusi (A)
- V_{af} = Tegangan dititik gangguan (V)
- $V_{a_{1f}}$ = Tegangan urutan positif dititik gangguan (V)
- $V_{a_{0f}}$ = Tegangan urutan nol dititik gangguan (V)
- $V_{a_{2f}}$ = Tegangan urutan negatif dititik gangguan (V)

V_f	= Tegangan yang mengalir pada urutan positif (V_{a-N}) (V)
V_a	= Tegangan (V_{a-N}) (V)
$Z_{1L}=Z_{2L}$	= Impedansi total kawat urutan positif dan negatif sepanjang saluran(Ω)
Z_{0L}	= Impedansi total kawat urutan sepanjang saluran (Ω)
$Z_{1f}=Z_{2f}$	= Impedansi total kawat urutan positif dan urutan negatif ketitik gangguan(Ω)
Z_{0f}	= Impedansi total kawat urutan nol ketitik gangguan (Ω)
Z_f	= Impedansi gangguan (Ω)
Z_1	= Impedansi kawat urutan positif (Ω/km)
Z_2	= Impedansi kawat urutan negatif (Ω/km)
Z_0	= Impedansi kawat urutan nol (Ω/km)
F	= Jarak gangguan yang dicobakan (km)

3.10. Penentuan Kepresisian Lokasi Gangguan Pada Saluran Udara Tegangan Menengah

Panjangnya saluran distribusi tentu akan berpengaruh terhadap keandalan dalam menjaga kualitas dan kuantitas penyaluran energi listrik. Kenyataannya saluran distribusi ini tidak jarang melewati daerah yang banyak pepohonannya, dimana kawat distribusi dekat dengan dahan pohon yang sewaktu – waktu dapat dengan mudah terjadi gangguan yaitu dengan cara bersentuhannya dahan dan kawat listrik, namun macam gangguan yang terjadi tidak selalu karena dahan pohon, bisa saja karena faktor lain.

Pencarian letak titik gangguan secara manual tentu akan memakan waktu yang lama, dan itu akan sangat berpengaruh dalam pelayanan kontinuitas listrik dari pihak produsen ke konsumen listrik. Hal ini penting bagi perusahaan listrik untuk mempunyai teknik penentuan lokasi gangguan yang tepat untuk mempercepat pemulihan tegangan dan menunjukkan daerah yang terganggu dengan tepat.

Banyak peneliti yang telah mengembangkan teknik penentuan letak gangguan secara digital yang pada dasarnya berpijak pada analisa matematis. salah satu teknik penentuan gangguan yang dikembangkan secara matematis adalah dengan cara pendekatan impedansi.

Sedangkan untuk nilai impedansi ini adalah didefinisikan sebagai perbandingan antara V_{select} (tegangan yang ditetapkan) dan I_{select} (arus yang ditetapkan), diberikan pada tabel berikut;

Tabel 3.2

Nilai V_{select} dan I_{select} Untuk perbandingan Impedansi

Type Gangguan	V_{select}	I_{select}
Φ ke tanah A	V_a	$I_a + kI_0$
$I\Phi$ ke tanah B	V_b	$I_b + kI_0$
$I\Phi$ ke tanah C	V_c	$I_c + kI_0$
Antar fasa atau fasa-fasa ke tanah (AB)	$V_a - V_b$	$I_a - I_b$
Antar fasa atau fasa-fasa ke tanah (BC)	$V_b - V_c$	$I_b - I_c$
Untuk gangguan 3 fasa sama penentuan besarnya seperti		

(Sumber: Adly A Girgis, IEEE Nov/Dec 1993)

Adapun besar impedansi yang akan dicari nanti berdasar tabel 3.2 adalah,

$$Z = \frac{V_{select}}{I_{select}} \dots\dots\dots 3.26$$

$$k = \frac{Z_{0L} - Z_{1L}}{Z_{1L}} \dots\dots\dots 3.27$$

$$Z_{0L} = Z_{0.L} \dots\dots\dots 3.28$$

$$Z_{1L} = Z_{1.L} \dots\dots\dots 3.29$$

Berdasar tabel 3.2 didapat.

$$V_{select} = V_a \dots\dots\dots 3.30$$

$I_{select} = (I_a + KI_0)$ dan dapat diuraikan menjadi bilangan kompleks, yaitu

$$= I_{s1} + jI_{s2} \dots\dots\dots 3.31$$

I_a , dapat diuraikan menjadi bilangan kompleks, yaitu $= I_d + jI_q \dots\dots\dots 3.32$

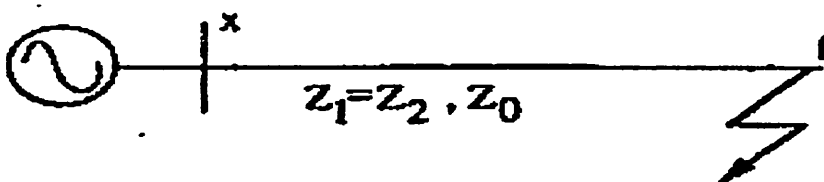
(Sumber : Adly A Girgis, IEEE Nov/Dec 1993)

Dengan berdasar persamaan untuk gangguan satu fasa ke tanah besar impedansi;

$$Z = \frac{V_a}{I_a + k.I_0} \dots\dots\dots 3.33$$

Untuk menggambarkan pendekatan lokasi gangguan yang didasarkan pada konsep pendekatan impedansi ini, maka dapat kita lihat pada gambar 3.9 berikut,

Dimana titik gangguan pada titik f.



Gambar 3.9

Gangguan Tegangan dan Arus pada Titik X

(Sumber : Adly A Girgis, IEEE Nov/Dec 1993)

Dengan didaptkannya nilai $I_{d1} = I_0$, maka Z diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.32), maka kita dapat menghitung jarak gangguan

(Sumber : Adly A Girgis, IEEE Nov/Dec 1993)

$$D = \frac{(RM - X.N)}{(R_1 M - X_1.N)} \dots\dots\dots 3.34$$

Dimana :

$$N = \frac{(I_d I_{s1} + I_q I_{s2})}{I_{sm}^2} \dots\dots\dots 3.35$$

$$M = \frac{(-I_d I_{s2} + I_q I_{s1})}{I_{sm}^2} \dots\dots\dots 3.36$$

Dan nilai I_{sm}^2 adalah; (Sumber : Adly A Girgis, IEEE Nov/Dec 1993)

$$I_{sm}^2 = I_{s1}^2 + I_{s2}^2 \dots\dots\dots 3.37$$

$$Z \text{ dapat diuraikan menjadibilangan kompleks, yaitu } = R + jX \dots\dots\dots 3.38$$

dimana ;

$$I_{s1} = \text{Re} (I_{select})$$

$$jI_{s2} = \text{Im} (I_{select})$$

$$I_d = \text{Re} (I_a)$$

$$jI_q = \text{Im} (I_a)$$

$$R = \text{Re} (Z)$$

$$jX = \text{Im} (Z)$$

$$R_1 = \text{Re} (Z')$$

$$jX_1 = \text{Im} (Z')$$

$$D = \text{Jarak titik gangguan dari pusat dsribusi}$$

BAB IV
ANALISIS PERHITUNGAN JUMLAH GANGGUAN DAN PENENTUAN
LOKASI GANGGUAN AKIBAT SAMBARAN PETIR PADA SALURAN
UDARA TEGANGAN MENENGAH

4.1. Jumlah Gangguan, Data konstruksi tiang listrik yang digunakan di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun.

A. Data Alam adalah sebagai berikut;

IKL : 110

B. Konstruksi Tiang Beton

a. Dimensi Tiang

Panjang : l : 11 meter

Diameter atas : 8 "

Diameter bawah : 10 "

V_{50} tiang beton : 20 kV

b. Jarak gawang standart : 50 meter

c. Penghantar fasa

Tegangan : V : 20 kV

Tipe penghantar : k : AAAC 150 mm²

Tinggi rata – rata : $h_t = h_1$: 9,05 (meter)

Jarak horizontal R-S : 90 cm

Jarak horizontal S-T : 90 cm

Jari-Jari : r : 9,772 mm

jarak antara r dan bayangan s : a_{rs} : 11,0 meter

jarak antara r dan s : b_{rs} : 0,508 meter

Impedansi kawat fasa : $Z_1 = Z_2$: $0,2162 + j 0,3323 \Omega/\text{km}$
 Impedansi kawat fasa : Z_0 : $0,5569 + j 1,0569 \Omega/\text{km}$
 tinggi konduktor r di atas bidang potensial s : h_r : 9,51 meter

d. Kawat Tanah

Jenis penghantar : k : STEELWIRE 22 mm²
 Tinggi rata – rata : $h = h_2$: 9,51 meter

e. Isolator

Tipe : LINE POST
 Material : PORSELIN
 Panjang : l : 292,1mm
 V_{50} isolator : 180 kV
 BIL (1,2/50 \square s) : 180 kV
 V_{50} isolator + tiang : 260 kV

C. Konstruksi Tiang Besi

a. Dimensi Tiang

Panjang : l : 13 meter
 Diameter atas : 4"
 Diameter bawah : 8 "
 V_{50} tiang beton : 20 kV
 Jarak gawang standart : 40 meter

b. Penghantar fasa

Tegangan	: V	: 20 kV
Tipe penghantar	: k	: AAAC 120 mm ²
Tinggi rata – rata	: $h_t = h_1$: 9,4 (meter)
Jarak horizontal R-S		: 90 cm
Jarak horizontal S-T		: 90 cm
Jari-Jari (r)	: r	: 3,77 mm
jarak antara r dan bayangan s	: a_{rs}	: 13,0 meter
jarak antara r dan s	: b_{rs}	: 0,7 meter
Impedansi kawat fasa	: $Z_1 = Z_2$: 0,2688 + j 0,3393 Ω /km
Impedansi kawat fasa	: Z_0	: 0,5674 + j 1,0697 Ω /km
tinggi konduktor r di atas bidang potensial s	: h_r	: 10,8 meter

c. Kawat Tanah

Jenis penghantar	: k	: STEELWIRE 22 mm ²
Tinggi rata – rata	: h = h_2	: 10,8 meter

d. Isolator

Tipe		: LINE POST
Material		: PORSELIN
Panjang	: l	: 375 mm
BIL (1,0/40 μ s)		: 165 kV
V_{50} isolator (1,0/40 μ s)		: 165 kV
V_{50} isolator (1,2/40 μ s)		: 137,5 kV
Tahanan kontak tiang besi	: R	: 100 Ω

Koefisien kawat tanah	: δ	: 0,3
V_{50} isolator + tiang		: 217,5 kV

D. Panjang Jaringan

Tiang Besi	: l	: 46,094 km
Tiang beton	: l	: 71,155 km
Total panjang jaringan	: l_{tot}	: 117,249 km

4.1.1. Tiang beton

4.1.1.1. Sambaran langsung

- a. Besar impedansi surja kawat fasa dihitung dengan menggunakan persamaan 3.2 diperoleh;

$$Z_p = 60 \ln \frac{2h_r}{r} \text{ ohm}$$

$$Z_p = 60 \ln \frac{2 \times 9,51}{9,772} = 39,958 \Omega$$

- b. Besar Probabilitas flash over pada isolator dihitung dengan menggunakan persamaan 3.9 diperoleh;

$$P_{FL} = e^{-\left(\frac{V_{50s}}{8,5 \cdot Z_p}\right)}$$

$$P_{FL} = e^{-\left(\frac{260}{8,5 \cdot 39,958}\right)} = 0,7655 \Omega$$

- c. Besar Gradien tegangan isolator dihitung dengan menggunakan persamaan 3.4 diperoleh;

$$E_o = \frac{V_1}{\sqrt{3} \cdot l} \text{ kV}_{\text{rms}}/\text{m}$$

$$E_o = \frac{20}{\sqrt{3} \times 0,2921} = 39,531 \text{ kV}_{\text{rms}}/\text{m}$$

- d. Besar probabilitas lompatan api menjadi busur api, dengan $E_o = 39,351$ $\text{kV}_{\text{rms}}/\text{m}$, dari table 3.1 diperoleh:

$$\eta = 0,49$$

- e. Besar luas bayang-bayang listrik dihitung dengan menggunakan persamaan 3.5 diperoleh:

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

$$A = 0,1(0 + 4 \times 9,51^{1,09}) = 4,658 \text{ km}^2 \text{ per } 100 \text{ km saluran}$$

- f. Besar jumlah sambaran petir ke tanah dihitung dengan menggunakan persamaan 3.6 diperoleh:

$$N = 0,15 \times \text{IKL sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N = 0,15 \times 110 = 16,5 \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

- g. Besar jumlah sambaran petir ke saluran dihitung dengan menggunakan persamaan 3.7 diperoleh:

$$N_L = 0,015 \cdot \text{IKL}(b + 4h^{1,09}) \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_L = 0,015 \times 110 \times (0 + 4 \times 9,51^{1,09}) = 76,870 \text{ sambaran /km}^2 \text{ / tahun}$$

- h. Besar jumlah gangguan akibat sambaran petir dihitung dengan menggunakan persamaan 3.10 diperoleh:

$$N_t = N_L \cdot P_{FL} \cdot \eta \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_t = 76,870 \times 0,7655 \times 0,49 = 28,833 \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

4.1.1.2. Sambaran Induksi

4.1.1.2.1. Dengan kawat tanah

Dengan tinggi penghantar fasa 9,05 meter, maka sebagai asumsi bahwa petir menyambar obyek setinggi 9,05 meter yang berjarak 2 meter dari jaringan.

- a. Besar impedansi surja sendiri kawat tanah dihitung dengan menggunakan persamaan 3.2 diperoleh;

$$Z_{rs} = 60 \cdot \ln \frac{2h_r}{r} \text{ ohm}$$

$$Z_{22} = 60 \ln \frac{2 \times 9,51}{9,772} = 39,958 \Omega$$

- b. Besar impedansi surja bersama kawat fasa dan kawat tanah dihitung dengan menggunakan persamaan 3.3 diperoleh;

$$Z_{rs} = 60 \cdot \ln \frac{a_{rs}}{b_{rs}} \Omega$$

$$Z_{12} = 60 \ln \frac{11,0}{0,508} = 184,51 \Omega$$

- c. Besar factor perisaian kawat tanah dihitung dengan menggunakan persamaan 3.16 diperoleh;

$$FP = 1 - \left(\frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \times \frac{h_2}{h_1} \right) \text{ km}^2$$

$$FP = 1 - \left[\frac{184,51}{2 \times 100 + 39,958} \times \frac{9,51}{9,05} \right] = 0,191 \text{ km}^2$$

- d. Besar probabilitas induksi arus kilat pada isolator dihitung dengan menggunakan persamaan 3.13 diperoleh

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot y}{1020 \cdot h_i}\right)}$$

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{260 \times 2}{1020 \times 9,05}\right)} = 0,056$$

- e. Besar luas bayang-bayang listrik dihitung dengan menggunakan persamaan 3.5 diperoleh;

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

$$A = 0,1(0 + 4 \times 9,51^{1,09}) = 4,658 \text{ km}^2 \text{ per } 100 \text{ km saluran}$$

- f. Besar jumlah sambaran petir ke obyek dihitung dengan menggunakan persamaan 3.7 diperoleh;

$$N_L = 0,015 \cdot IKL(b + 4h^{1,09}) \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_L = 0,015 \times 110 \times (0 + 4 \times 9,51^{1,09}) = 76,870 \text{ sambaran / km}^2 \text{ / tahun}$$

- g. Besar jumlah gangguan akibat sambaran induksi dihitung dengan menggunakan persamaan 3.15 diperoleh;

$$N_i = 30,6 \cdot IKL \cdot h \cdot \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510FP}\right)h_i^{0,07}}}{V_{50\%}} \times \eta \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_i = 30,6 \times 110 \times 9,51 \times \frac{e^{-\left(\frac{260}{510 \times 0,191} \times 9,05^{0,07}\right)}}{260} \times 0,49 = 19632 \text{ sambaran / km}^2 \text{ / tahun}$$

- h. Besar jumlah gangguan total dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1 diperoleh;

$$N_o = N_i + N_L \text{ gangguan per } 100 \text{ km per tahun}$$

$$N_o = 196,32 + 28,833 = 225,162 \text{ gangguan per } 100 \text{ km per tahun}$$

4.1.1.2.2. Tanpa kawat tanah

Dengan tinggi penghantar fasa 9,05 meter, maka Sebagai asumsi bahwa petir menyambar obyek setinggi 9,05 meter yang berjarak 2 meter dari jaringan.

- a. Besar Probabilitas induksi arus kilat pada isolator dihitung dengan menggunakan persamaan 3.13 diperoleh

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot y}{1020 \cdot h_i}\right)}$$

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{260 \cdot 2}{1020 \cdot 9,51}\right)} = 0,056$$

- b. Besar luas bayang-bayang listrik dihitung dengan menggunakan persamaan 3.5 diperoleh;

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

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

- c. Besar jumlah sambaran petir ke obyek dihitung dengan menggunakan persamaan 3.7 diperoleh;

$$N_{I_1} = 0,015 \cdot IKL(b + 4h^{1,09}) \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_{I_1} = 0,015 \times 110 \times (0 + 4 \times 0^{1,09}) = 1,65 \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

- d. Besar jumlah gangguan akibat sambaran induksi dihitung dengan menggunakan persamaan 3.14 diperoleh;

$$N_i = 30,6 \cdot IKL \cdot h_i \cdot \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510FP}\right) h_i^{0,09}}}{V_{50\%}} \cdot x \eta \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_i = 30,6 \times 110 \times 9,05 \times \frac{e^{-\left(\frac{260}{510 \times 0,191} \times 9,51^{0,09}\right)}}{260} \times 0,49 = 187,66 \text{ sambaran/km}^2 \text{ / tahun}$$

- e. Besar jumlah gangguan total dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1 diperoleh;

$$N_o = N_i + N_t \text{ gangguan per 100 km per tahun}$$

$$N_o = 187,66 + 28,833 = 216,50 \text{ gangguan per 100 km per tahun}$$

4.1.2. Tiang besi

4.1.2.1. Sambaran langsung

- a. Besar impedansi surja kawat fasa dihitung dengan menggunakan persamaan 3.2 diperoleh;

$$Z_p = 60 \ln \frac{2h_r}{r} \text{ ohm } \Omega$$

$$Z_p = 60 \ln \frac{2 \times 10,8}{3,77} = 104,737 \Omega$$

- b. Besar probabilitas flash over pada isolator dihitung dengan menggunakan persamaan 3.11 diperoleh;

$$P_{fl} = e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{(R+\alpha V)^{34}}\right)} \Omega$$

$$P_{fl} = e^{-\left(\frac{137,5}{(100 \times 0,3 \times 10,8)^{34}}\right)} = 0,01248 \Omega$$

- c. Besar gradien tegangan isolator dihitung dengan menggunakan persamaan 3.4 diperoleh;

$$E_o = \frac{V_1}{\sqrt{3} \cdot l} \text{ kV/m}$$

$$E_o = \frac{20}{\sqrt{3} \times 0,375} = 30,792 \text{ kV}_{\text{rms}}/\text{m}$$

- d. Besar probabilitas lompatan api menjadi busur api, dengan $E_0 = 30,792$ kV_{rms}/m, dari pada tabel 3.1 diperoleh;

$$\eta = 0,46$$

- e. Besar luas bayang-bayang listrik dihitung dengan menggunakan persamaan 3.5 diperoleh;

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

$$A = 0,1(0 + 4 \times 10,8^{1,09}) = 5,352 \text{ km}^2 \text{ per } 100 \text{ km saluran}$$

- f. Besar jumlah sambaran petir ke tanah dihitung dengan menggunakan persamaan 3.6 diperoleh;

$$N = 0,15 \times \text{IKL sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N = 0,15 \times 110 = 16,5 \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

- g. Besar jumlah sambaran petir ke saluran dihitung dengan menggunakan persamaan 3.7 diperoleh;

$$N_L = 0,015 \cdot \text{IKL}(b + 4h^{1,09}) \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_L = 0,15 \times 110 \times (0 + 4 \times 10,8^{1,09}) = 88,303 \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

- h. Besar jumlah gangguan akibat sambaran petir langsung dihitung dengan menggunakan persamaan 3.10 diperoleh

$$N_i = N_L \cdot P_{FL} \cdot \eta \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_i = 88,303 \times 0,01248 \times 0,46 = 0,507 \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

4.1.2.2. Sambaran induksi

4.1.2.2.1. Dengan kawat tanah

Dengan tinggi penghantar fasa 9,4 meter, maka Sebagai asumsi bahwa petir menyambar obyek setinggi 9,4 meter yang berjarak 2 meter dari jaringan.

- a. Besar impedansi surja sendiri kawat tanah dihitung dengan menggunakan persamaan 3.2 diperoleh;

$$Z_{rs} = 60 \ln \frac{2h_r}{r} \text{ ohm}$$

$$Z_{22} = 60 \ln \frac{2 \times 10,8}{3,77} = 104,73 \Omega$$

- b. Besar impedansi surja bersama kawat fasa dan kawat tanah dihitung dengan menggunakan persamaan 3.3 diperoleh;

$$Z_{rs} = 60 \ln \frac{a_{rs}}{b_{rs}} \Omega$$

$$Z_{12} = 60 \ln \frac{13}{0,7} = 175,29 \Omega$$

- c. Besar factor perisaian kawat tanah dihitung dengan menggunakan persamaan 3.16 diperoleh;

$$FP = 1 - \left(\frac{Z_{12}}{2R + Z_{22}} \times \frac{h_2}{h_1} \right) \text{ km}^2$$

$$FP = 1 - \left[\frac{175,297}{2 \times 100 + 104,73} \times \frac{10,8}{9,4} \right] = 0,339 \text{ km}^2$$

- d. Besar probabilitas induksi arus kilat pada isolator dihitung dengan menggunakan persamaan 3.17 diperoleh;

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot y}{1020 \cdot h_i} \right)}$$

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{137,5 \times 2}{1020 \times 9,4} \right)} = 2,534$$

- e. Besar luas bayang-bayang listrik dihitung dengan menggunakan persamaan 3.5 diperoleh;

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

$$A = 0,1(0 + 4 \times 9,4^{1,09}) = 4,6 \text{ km}^2 \text{ per } 100 \text{ km saluran}$$

- f. Besar jumlah sambaran petir ke obyek dihitung dengan menggunakan persamaan 3.7 diperoleh;

$$N_L = 0,015 \cdot IKL (b + 4h^{1,09}) \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_L = 0,15 \times 110 \times (0 + 4 \times 10,8^{1,09}) = 88,303 \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

- g. Besar jumlah sambaran petir ke obyek dihitung dengan menggunakan persamaan 3.15 diperoleh;

$$N_i = 30,6 \cdot IKL \cdot h \cdot \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510FP}\right)h^{0,09}}}{V_{50\%}} \cdot x \eta \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_i = 30,6 \times 110 \times 10,8 \times \frac{e^{-\left(\frac{217,5}{51'0 \times 0,339}\right) \times 10,8^{0,09}}}{217,5} \times 0,46 = 119,82 \text{ sambaran/km}^2 / \text{ tahun}$$

- h. Besar jumlah gangguan total dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1 diperoleh;

$$N_o = N_i + N_L \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_o = 119,82 + 0,507 = 120,32 \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

4.1.2.2.2. Tanpa kawat tanah

Dengan tinggi penghantar fasa 9,4 meter, maka Sebagai asumsi bahwa petir menyambar obyek setinggi 9,4 meter yang berjarak 2 meter dari jaringan.

- a. Besar probabilitas induksi arus kilat pada isolator dihitung dengan menggunakan persamaan 3.17 diperoleh;

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{V_{50\%} \cdot Y}{1020 \cdot FP \cdot h_i}\right)}$$

$$P_{I_0} = e^{-\left(\frac{137,5 \times 2}{1020 \times 9,4}\right)} = 2,534$$

- b. Besar luas bayang-bayang listrik dihitung dengan menggunakan persamaan 3.5 diperoleh;

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

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

- c. Besar jumlah sambaran petir ke obyek dihitung dengan menggunakan persamaan 3.7 diperoleh:

$$N_L = 0,015 \cdot IKL(b + 4h^{1,09}) \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_L = 0,015 \times 110 \times (0 + 4 \times 0^{1,09}) = 1,65 \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

- d. Besar jumlah sambaran petir ke obyek dihitung dengan menggunakan persamaan 3.14 diperoleh;

$$N_i = 30,6 \cdot IKL \cdot h \cdot \frac{e^{-\left(\frac{V_{50\%}}{510 \cdot FP}\right) h^{0,09}}}{V_{50\%}} \times \eta \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_i = 30,6 \times 110 \times 9,4 \times \frac{e^{-\left(\frac{217,5}{510 \times 0,339}\right) \times 9,4^{0,09}}}{217,5} \times 0,46 = 102,99 \text{ sambaran/km}^2 \text{ / tahun}$$

- e. Besar jumlah gangguan total dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1 diperoleh;

$$N_0 = N_i + N_L \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

$$N_0 = 102,99 + 0,507 = 103,50 \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

Dari hasil perhitungan jumlah gangguan sambaran petir data terlihat pada tabel 4.1 berikut ini;

Tabel 4.1. Jumlah Gangguan Petir

Parameter	Satuan	Tiang Beton			Tiang Besi		
		Sambaran Langsung	Sambaran Induksi		Sambaran Langsung	Sambaran Induksi	
			Dengan Kawat Tanah	Tanpa Kawat Tanah		Dengan Kawat Tanah	Tanpa Kawat Tanah
Z_p	ohm	39,958	-	-	104,737	-	-
P_{R_L}	ohm	0,7655	-	-	0,01248	-	-
E_0	kV/m	39,531	-	-	30,792	-	-
η		0,49	0,49	0,49	0,46	0,46	0,46
A	km ²	4,658	4,658	0	5,352	4,6	0
N	Sambaran/100km/tahun	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
N_L	Sambaran/100km/tahun	76,870	76,870	1,65	88,303	88,303	1,65
N_t	Sambaran/100km/tahun	28,833	28,833	28,833	0,507	0,507	0,507
N_i	Sambaran/100km/tahun	-	196,32	187,66	-	119,82	102,99
N_0	Sambaran/100km/tahun	-	225,162	216,50	-	120,32	103,50
Z_{22}	ohm	-	39,958	-	-	104,73	-
Z_{12}	ohm	-	184,51	-	-	175,29	-
F_P	km ²	-	0,191	-	-	0,339	-
P_{10}		-	0,056	0,056	-	2,534	2,534

Sumber: hasil perhitungan

4.2. Penentuan Letak Titik Gangguan

Letak titik gangguan dengan data lapangan 15,635 km dan dihitung dengan $Z_f = 0 \Omega, 10 \Omega, 35 \Omega$.

4.2.1. Tiang Beton

4.2.1.1 Data Konstruksi penyulang Manguharjo :

A. Konstruksi Tiang Beton

a. Dimensi Tiang

Panjang : l : 11 meter

Diameter atas : 8 "

Diameter bawah : 10 "

b. Jarak gawang standart : 50 meter

c. Penghantar fasa

Tipe penghantar : k : AAAC 150 mm²

Panjang jaringan : l : 22.136 km

Tinggi rata – rata : h : 9,3 (meter)

Jarak horizontal R-S : 90 cm

Jarak horizontal S-T : 90 cm

Impedansi kawat fasa : $Z_1 = Z_2$: $0,2162 + j 0,3323 \Omega/\text{km}$

Impedansi kawat fasa : Z_0 : $0,5569 + j 1,0569 \Omega/\text{km}$

d. Isolator

Tipe : LINE POST

Material : PORSELIN

BIL (1,2/50 μs) : 180 kV

4.2.2. Perhitungan Letak Gangguan Pada $f = 15,635$ km Dengan $Z_f = 0 \Omega$

Dalam penentuan letak titik gangguan ini pada setiap titik gangguan akan dicobakan nilai Z_f yaitu (0Ω , 10Ω , 35Ω), serta perhitungannya berdasarkan data-data diatas sebagai berikut:

Berdasarkan persamaan 3.21 dan 3.22 maka perhitungan impedansi kawat ke titik gangguan 15,635 km adalah:

$$\begin{aligned} Z_{1f} = Z_{2f} = Z_1 \cdot f &= (0,2162 + j 0,3323) \cdot 15,635 \\ &= 3,380287 + j 5,1955105 \\ &= 18,71562249 \angle 62,27^\circ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{0f} = Z_0 \cdot f &= (0,5569 + j 1,0596) \cdot 15,635 \\ &= 8,7071315 + j 16,566846 \\ &= 6,19836023 \angle 33,04^\circ \Omega \end{aligned}$$

Dengan didapatkannya persamaan impedansi diatas, maka kita dapat menentukan besar arus gangguan, dan penentuan letak titik gangguan yang terjadi. lalu dengan menggunakan persamaan 3.25 kita dapat menghitung besar I_o , adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{a1} = I_o &= \frac{Vf}{Z_{1f} + Z_{2f} + Z_{0f} + 3Z_f} \\ &= \frac{20.000/\sqrt{3}}{(3,380287 + j 5,1955105)2 + (8,7071315 + j 16,566846) + 3 \cdot 0} \\ &= \frac{11547,00538}{31,08016259 \angle -60,1539} \\ &= 371,523361 \angle -60,1539^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

berdasarkan persamaan 3.19;

$$\begin{aligned}
 I_a &= 3 \cdot I_o \\
 &= 3 \cdot 371,523361 \angle -60,1539^\circ \\
 &= 1114,569978 \angle -60,1539^\circ \text{ A} \\
 &= 554,6902716 - j 966,7393332 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai k, maka kita lihat persamaan 3.27;

$$k = \left(\frac{Z_{oL} - Z_{iL}}{Z_{iL}} \right)$$

Sedangkan untuk persamaan nilai Z_{oL} dan Z_{iL} kita lihat persamaan 3.28 dan 3.29;

$$\begin{aligned}
 Z_{iL} &= Z_1 \cdot L \\
 &= (0,2162 + j 0,3323) \cdot 22,136 \\
 &= 4,7858032 + j 7,3557928 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{oL} &= Z_o \cdot L \\
 &= (0,5569 + j 1,0596) \cdot 22,136 \\
 &= 12,3275384 + j 23,4553056 \Omega
 \end{aligned}$$

lalu menghitung nilai k;

$$\begin{aligned}
 k &= \left(\frac{(12,3275384 + j 23,4553056) - (4,7858032 + j 7,3557928)}{4,7858032 + j 7,3557928} \right) \\
 &= \left(\frac{7,5417352 + j 30,7553056}{4,7858032 + j 7,3557928} \right) \\
 &= \left(\frac{31,66649005 \angle 76,22195068^\circ}{8,77562533 \angle 56,95129131^\circ} \right) \\
 &= 3,608459666 \angle 19,2706^\circ
 \end{aligned}$$

berdasarkan table 3.2 maka besar I select adalah;

$$I_{\text{select}} = I_a + K \cdot I_o$$

$$I_{\text{select}} = 1114,569978 \angle -60,1539^\circ + 752,6639623 \angle -52,2057^\circ$$

$$\begin{aligned}
 &= 554,6902716 - j 966,7393332 + 461,2538841 - j 594,7670927 \\
 &= 1015,944156 - j 1561,506426 \\
 &= 1862,913 \angle 56,9512^\circ \text{ A}
 \end{aligned}$$

lalu kita menghitung Z berdasarkan persamaan 3.33;

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{V_a}{I_a + k \cdot I_o} \\
 &= \frac{11547,00538}{1862,913 \angle 56,9512^\circ} \\
 &= 6,198359977 \angle 56,9512^\circ \Omega \\
 &= (3,380295141 + j 5,1955049) \Omega
 \end{aligned}$$

berdasarkan persamaan 3.31;

$$\begin{aligned}
 I_{\text{select}} &= (I_a + k \cdot I_o) = I_{s1} + j I_{s2} \quad (I_{s1} = \text{Re}(I_{\text{select}})) \quad (j I_{s2} = \text{Im}(I_{\text{select}})) \\
 &= 1015,945474 - j 1561,505568 \text{ A}
 \end{aligned}$$

berdasarkan persamaan 3.32;

$$\begin{aligned}
 I_a &= I_d + j I_q \quad (I_d = \text{Re}(I_a)) \quad (I_q = \text{Im}(I_a)) \\
 &= 554,6902716 - j 966,7393332 \text{ A}
 \end{aligned}$$

berdasarkan persamaan 3.37;

$$\begin{aligned}
 I_{\text{sm}}^2 &= I_{s1}^2 + I_{s2}^2 \\
 &= 1032145,206 + 2438299,639 \\
 &= 3470444,845
 \end{aligned}$$

berdasarkan persamaan 3.38;

$$\begin{aligned}
 Z &= R + jX \quad (R = \text{Re}(Z)) \quad (jX = \text{Im}(Z)) \\
 &= (3,380295141 + j 5,1955049) \Omega
 \end{aligned}$$

dimana berdasarkan persamaan 3.36;

$$\begin{aligned} M &= \frac{(-I_d \cdot I_{s2} + I_q \cdot I_{s1})}{I_{sm}^2} \\ &= \frac{866151,9476 - 982154,4501}{3470444,845} \\ &= -0,0334257011 \end{aligned}$$

dan nilai N berdasarkan persamaan 3.35;

$$\begin{aligned} N &= \frac{(I_d \cdot I_{s1} + I_q \cdot I_{s2})}{I_{sm}^2} \\ &= \frac{563535,0709 + 1509568,852}{3470444,845} \\ &= 0,5973597091 \end{aligned}$$

dan akhirnya kita dapat menentukan jarak titik gangguan berdasarkan persamaan 3.34;

$$\begin{aligned} D &= \frac{(R.M - X.N)}{(R_1.M - X_1.N)} \\ &= \frac{-0,1129888353 + 3,103585296}{-0,0072266365 + 0,1985026313} \\ &= \frac{2,990596461}{0,1912759948} \\ &= 15,63498056 \text{ km} \end{aligned}$$

Jadi jarak titik gangguan yang telah dihitung bila dilihat dari titik x di PT. PLN (persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun adalah 15,63498056 km.

Untuk letak titik gangguan yang lain, dari hasil perhitungan letak titik gangguan $f = 1$ km sampai dengan 23 km dan dengan dengan $Z_f = 0 \Omega, 10 \Omega, 35\Omega$ terlihat pada Tabel 4.2 berikut ini;

Tabel 4.2. Penentuan letak titik gangguan dengan menggunakan $Z_f = 0\Omega, 10\Omega, 35\Omega$

Dengan $Z_f = 0 \Omega$

F (km)	I_a (A)	Z (Ω)	D (km)
1	17426,30161 $\angle -60,15^\circ$	1,5432 $\angle 107,67^\circ$	1,0023564
2	8713,368939 $\angle -60,15^\circ$	1,9268 $\angle 104,83^\circ$	2,0053694
3	14563,32178 $\angle -56,95^\circ$	1,6235 $\angle 102,27^\circ$	3,0023987
4	4356,575403 $\angle -60,15^\circ$	1,6783 $\angle 99,24^\circ$	4,0056438
5	3485,260323 $\angle -60,15^\circ$	1,8332 $\angle 97,20^\circ$	5,0074653
6	2904,383601 $\angle -60,15^\circ$	1,8665 $\angle 94,36^\circ$	6,0087625
7	2489,471658 $\angle -60,15^\circ$	2,2635 $\angle 92,12^\circ$	7,0098371
8	2178,287702 $\angle -60,15^\circ$	2,6532 $\angle 89,36^\circ$	8,0045736
9	1936,255734 $\angle -60,15^\circ$	2,6946 $\angle 86,32^\circ$	9,0084736
10	1742,630161 $\angle -60,15^\circ$	2,7525 $\angle 84,68^\circ$	10,004186
11	1548,209237 $\angle -60,15^\circ$	3,5627 $\angle 81,40^\circ$	11,325758
12	1452,191801 $\angle -60,15^\circ$	3,6351 $\angle 78,95^\circ$	12,987653
13	1340,48474 $\angle -60,15^\circ$	3,6832 $\angle 77,58^\circ$	13,0063175
14	1244,735829 $\angle -60,15^\circ$	3,7263 $\angle 75,83^\circ$	14,0021873
15	1161,75344 $\angle -60,15^\circ$	3,8964 $\angle 72,43^\circ$	15,0041532
16	1089,143851 $\angle -60,15^\circ$	4,4832 $\angle 69,95^\circ$	16,0056327
17	1025,076565 $\angle -60,15^\circ$	4,5475 $\angle 66,32^\circ$	17,0077378
18	968,127867 $\angle -60,15^\circ$	4,5763 $\angle 63,18^\circ$	18,0086932
19	917,1990447 $\angle -60,15^\circ$	4,6526 $\angle 59,56^\circ$	19,0043846
20	871,3150806 $\angle -60,15^\circ$	5,3654 $\angle 57,71^\circ$	20,0021564
21	829,823886 $\angle -60,15^\circ$	5,5879 $\angle 54,32^\circ$	21,0052436
22	792,1046187 $\angle -60,15^\circ$	5,6847 $\angle 52,18^\circ$	22,0032652
23	757,5910587 $\angle -60,15^\circ$	5,7834 $\angle 47,96^\circ$	23,0098473

Dengan $Z_f = 10 \Omega$

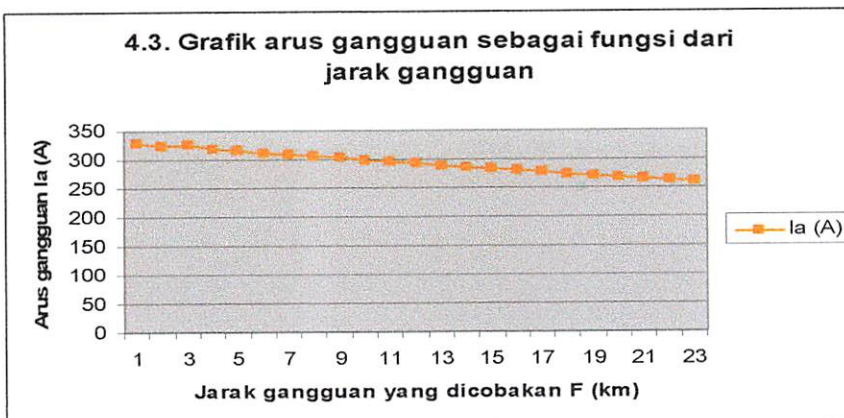
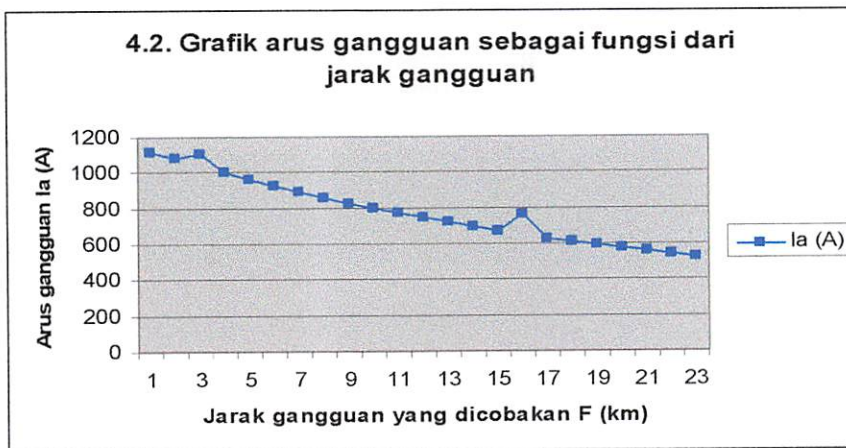
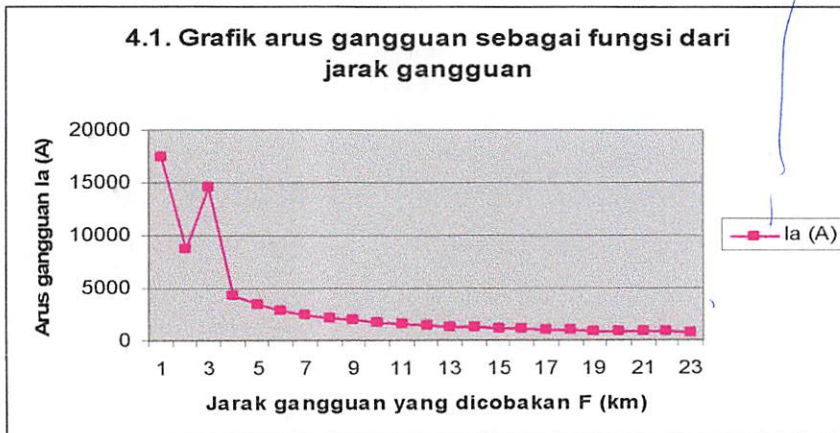
F (km)	I_a (A)	Z (Ω)	D (km)
1	1116,111758 $\angle -3,15^\circ$	2,6235 $\angle 84,42^\circ$	0,9823481
2	1077,019025 $\angle -6,18^\circ$	4,5432 $\angle 66,32^\circ$	1,9756342
3	1104,6017 $\angle -3,64^\circ$	2,6475 $\angle 84,43^\circ$	2,9673815
4	999,7262448 $\angle -11,48^\circ$	2,9346 $\angle 84,46^\circ$	3,9568435
5	962,406591 $\angle -13,85^\circ$	2,9832 $\angle 84,20^\circ$	4,9756253
6	926,3479755 $\angle -16,06^\circ$	4,2365 $\angle 66,15^\circ$	5,9873257
7	891,7165017 $\angle -18,10^\circ$	4,3152 $\angle 66,24^\circ$	6,9975361
8	858,6076482 $\angle -19,99^\circ$	4,6743 $\angle 66,40^\circ$	7,9683457
9	827,0631903 $\angle -21,74^\circ$	4,8432 $\angle 66,82^\circ$	8,9436748
10	797,085231 $\angle -23,37^\circ$	6,4539 $\angle 26,45^\circ$	9,9765843
11	768,6474558 $\angle -24,88^\circ$	6,5243 $\angle 26,58^\circ$	10,963152
12	741,7039296 $\angle -26,29^\circ$	6,6461 $\angle 26,63^\circ$	11,968641
13	716,1958266 $\angle -27,60^\circ$	6,6652 $\angle 26,65^\circ$	12,993653
14	692,050422 $\angle -28,83^\circ$	6,7529 $\angle 26,73^\circ$	13,987324
15	669,2150901 $\angle -29,97^\circ$	6,7964 $\angle 26,89^\circ$	14,956534
16	766,0724121 $\angle -37,59^\circ$	10,5832 $\angle 27,43^\circ$	15,975532
17	627,1377225 $\angle -32,04^\circ$	10,6475 $\angle 27,51^\circ$	16,998433
18	607,7599506 $\angle -32,99^\circ$	10,6663 $\angle 27,53^\circ$	17,987346
19	589,4054253 $\angle -33,87^\circ$	10,7323 $\angle 27,60^\circ$	18,968443
20	571,4897815 $\angle -34,20^\circ$	10,7831 $\angle 27,64^\circ$	19,973228
21	555,4723524 $\angle -35,49^\circ$	10,8312 $\angle 27,71^\circ$	20,956338
22	539,7892236 $\angle -36,23^\circ$	11,7432 $\angle 24,36^\circ$	21,948765
23	524,8295718 $\angle -36,92^\circ$	11,7758 $\angle 24,43^\circ$	22,954368

Sumber : Hasil Perhitungan

Dengan $Z_f = 35 \Omega$

F (km)	I_a (A)	Z (Ω)	D (km)
1	326,7918 $\angle -0,93^\circ$	4,4963 $\angle 66,30^\circ$	0,9543816
2	323,6451 $\angle -1,84^\circ$	7,6482 $\angle 27,38^\circ$	1,9568743
3	325,831 $\angle -1,07^\circ$	4,5095 $\angle 66,29^\circ$	2,9465374
4	317,2973 $\angle -3,62^\circ$	7,6472 $\angle 27,38^\circ$	3,9325731
5	314,1074 $\angle -4,48^\circ$	8,4863 $\angle 25,43^\circ$	4,9536543
6	310,9129 $\angle -5,32^\circ$	11,4033 $\angle 24,14^\circ$	5,9873257
7	307,7178 $\angle -6,15^\circ$	13,2254 $\angle 23,22^\circ$	6,9765874
8	304,5263 $\angle -6,96^\circ$	14,4786 $\angle 22,24^\circ$	7,9379563
9	301,3418 $\angle -7,75^\circ$	16,5632 $\angle 21,26^\circ$	8,0043673
10	298,1679 $\angle -8,53^\circ$	17,6523 $\angle 20,35^\circ$	9,9463743
11	296,1352 $\angle -7,84^\circ$	17,7126 $\angle 20,30^\circ$	10,934463
12	291,8639 $\angle -10,03^\circ$	19,6461 $\angle 18,42^\circ$	11,913640
13	288,7392 $\angle -10,76^\circ$	21,5487 $\angle 11,33^\circ$	12,936481
14	285,6361 $\angle -11,48^\circ$	21,5930 $\angle 11,31^\circ$	13,894563
15	282,4315 $\angle -12,17^\circ$	21,6483 $\angle 11,28^\circ$	14,858711
16	279,5026 $\angle -12,86^\circ$	23,7145 $\angle 10,46^\circ$	15,864335
17	276,4759 $\angle -13,57^\circ$	27,4561 $\angle 9,85^\circ$	16,917845
18	273,4781 $\angle -14,18^\circ$	30,3122 $\angle 9,59^\circ$	17,897654
19	270,5112 $\angle -14,82^\circ$	35,8143 $\angle 9,53^\circ$	18,872964
20	267,5745 $\angle -13,44^\circ$	43,4154 $\angle 8,98^\circ$	19,856435
21	264,7847 $\angle -16,00^\circ$	46,1536 $\angle 8,87^\circ$	20,894033
22	261,8007 $\angle -15,65^\circ$	51,2198 $\angle 7,18^\circ$	21,876973
23	258,948 $\angle -17,24^\circ$	55,8561 $\angle 7,96^\circ$	22,864022

Sumber: Hasil Perhitungan



Dari hasil analisis kepresisian lokasi gangguan akibat surja petir pada jaringan distribusi 20 kV di PT. PLN (persero) Distribusi Jawa Timur Area Madiun pada tabel 4.2 dan grafik 4.1, 4.2, 4.3 terlihat bahwa apa bila arus pada saat terjadi gangguan (I_a), akan semakin besar bila mendekati pusat station distribusi dan akan semakin kecil bila semakin jauh dengan pusat distribusi sedangkan pada saat peningkatan arus gangguan dengan $Z_f = 0\Omega$ pada jarak 3 km sebesar 5849.952841 A ini mengindikasikan bahwa arus gangguan pada saat terjadi surja petir sangat besar. dan pada saat peningkatan arus gangguan dengan $Z_f = 10\Omega$ pada jarak 3 km sebesar 27.482675 A dan pada jarak 16 km sebesar 96.857322 A ini mengindikasikan bahwa arus gangguan pada saat terjadi surja petir sangat besar. sedangkan pada saat peningkatan arus gangguan dengan $Z_f = 35\Omega$ pada jarak 3 km sebesar 2.1859 A ini mengindikasikan bahwa arus gangguan pada saat terjadi surja petir sangat besar. serta data gangguan pada 27 Januari 2004 dan pada 12 Maret 2004 yang digunakan sebagai pembandingan penting lain yang dapat dilakukan dimana untuk melanjutkan validasi pendekatan akurasi kepresisian lokasi gangguan akibat surja petir. Maka seperti terlihat pada data gangguan, gangguan pada 12 Maret 2004 ditentukan berlokasi kira-kira 15,635 km dari pusat station distribusi sedangkan gangguan pada 27 Januari 2004 ditentukan berlokasi kira-kira 15 km dari pusat station distribusi kedua gangguan berlokasi pada (feeder) yang sama. pada kasus ini gangguan mengempung pada 27 Januari 2004 arus gangguan dengan $Z_f = 0\Omega$, $I_a = 1161,75344 \angle -60,15^0 A$ ini terjadi pada saat gangguan hubung singkat maksimum sedangkan pada saat gangguan hubung singkat minimum dengan $Z_f = 10\Omega$, $I_a = 669,2150901 \angle -29,97^0 A$ dan dengan $Z_f = 35\Omega$, $I_a = 282,4315 \angle -12,17^0 A$ sedangkan pada gangguan 12 Maret 2004 mempunyai nilai arus gangguan pada saat gangguan hubung singkat maksimum dengan $Z_f = 0\Omega$ $I_a = 1114,569978 \angle -60,1539^0 A$ sedangkan pada saat gangguan hubung singkat minimum dengan $Z_f = 10\Omega$, $I_a = 655,3516635 \angle -30,66^0 A$ dan dengan $Z_f = 35\Omega$, $I_a = 280,61411809 \angle -12,61^0 A$, oleh karena itu kondisi arus yang diamati pada 27 Januari 2004 dan pada 12 maret 2004 mampu secara independent mendukung lokasi gangguan yang lebih tepat.

BAB V

KESIMPULAN

1. Dari hasil analisis terjadinya jumlah gangguan akibat sambaran petir pada SUTM 20 kV di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun antara tiang besi dan tiang beton, diperoleh nilai perbandingan rata-rata pada tiap saluran untuk tiang besi dan tiang beton. dari data hasil analisis pada tabel 3 diperoleh kesimpulan sebagai berikut;
 - Jumlah gangguan petir akibat sambaran langsung (N_t) pada tiang beton mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan jumlah gangguan pada tiang besi.
 - Besar sambaran induksi (N_i) pada tiang besi maupun tiang beton, baik menggunakan kawat tanah maupun tidak menggunakan kawat tanah, jumlah gangguan pada tiang beton mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan tiang besi.
 - Besarnya sambaran total (N_o) pada tiang besi maupun pada tiang beton, baik menggunakan kawat tanah maupun tidak menggunakan kawat tanah, jumlah gangguan pada tiang beton mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan tiang besi.
2. Dari hasil analisis kepresisian lokasi gangguan akibat surja petir pada jaringan distribusi 20 kV di PT. PLN (persero) Distribusi Jawa Timur Area Madiun pada tabel 4.2 dan grafik 4.1, 4.2, 4.3 serta data gangguan pada 27 Januari 2004 dan pada 12 Maret 2004 yang digunakan sebagai pembanding penting lain yang dapat dilakukan dimana untuk melanjutkan validasi pendekatan akurasi kepresisian lokasi gangguan akibat surja petir pada jaringan distribusi 20 kV di PT. PLN (persero) Distribusi Jawa Timur area Madiun. Maka seperti terlihat pada data gangguan, gangguan pada 12 Maret 2004 ditentukan berlokasi kira-kira 15,635 km dari pusat station distribusi sedangkan gangguan pada 27 Januari 2004 ditentukan berlokasi kira-kira 15 km dari pusat station distribusi kedua gangguan berlokasi pada (feeder) yang sama pada kasus ini gangguan mengepung pada 27 januari 2004 arus

gangguan dengan $Z_f = 0\Omega$, $I_a = 1161,75344 \angle -60,15^\circ$ A ini terjadi pada saat gangguan hubung singkat maksimum sedangkan pada saat gangguan hubung singkat minimum dengan $Z_f = 10\Omega$, $I_a = 669,2150901 \angle -29,97^\circ$ A dan dengan $Z_f = 35\Omega$, $I_a = 282,4315 \angle -12,17^\circ$ A sedangkan pada gangguan 12 Maret 2004 mempunyai nilai arus gangguan pada saat gangguan hubung singkat maksimum dengan $Z_f = 0\Omega$ $I_a = 1114,569978 \angle -60,1539^\circ$ A sedangkan pada saat gangguan hubung singkat minimum dengan $Z_f = 10\Omega$, $I_a = 655,3516635 \angle -30,66^\circ$ A dan dengan $Z_f = 35\Omega$, $I_a = 280,61411809 \angle -12,61^\circ$ A, oleh karena itu kondisi arus yang diamati pada 27 Januari 2004 dan pada 12 maret 2004 mampu secara independent mendukung lokasi gangguan akibat surja petir yang lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. J.G. Kapennman, *senior member IEEE*, M.E. Gordon, *senior member IEEE*, and T.W. Gutormson, *member IEEE*, "**High-Precision Location Of Lightning-Caused Distribution Fault**"
- [2]. T.S Hutahuruk , "**gelombang berjalan dan proteksi surya**", departemen elektronik, ITB, 1989.
- [3]. Ir. Setyo saksomo. "**proteksi sistem tenaga listrik**".departemen pendidikan dan kebudayaan universitas brawijaya.
- [4]. K.T. Sirait, R. Zoro, "**Perlindungan Terhadap Tegangan Lebih pada Sistem Tenaga Listrik**," Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1986.
- [5]. T.S. Hutaauruk, "**Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan**," Erlangga, Jakarta, 1987.
- [6]. PT. PLN (Persero), "**Operasi dan Pemeliharaan Distribusi TM** ," P.T. PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan, Jakarta 1997.
- [7]. Adly A. Girgis, Fellow, IEEE, Christopher M. And David L, Lubkeman, Senior member, IEEE, "**A Fault Location Technique For Rural Distribution Feeders**" IEEE Transsactions On Industry Applicaions, Vol.29, NO. 6, NOVEMBER / DECEMBER 1993.
- [8]. PT. PLN (persero) Proyek listrik pedesaan Jawa Timur, "**Gambar konstruksi jaringan distribusi**"
- [9]. William D. Stevenson ,Jr, "**Analisis Sistim tenaga listrik**" edisi Empat

LAMPIRAN

Data Teknis Konstruksi :

A. Konstruksi Tiang Beton

1. Dimensi Tiang

Panjang : 11 meter

Diameter atas : 8 "

Diameter bawah : 10 "

V₅₀ tiang beton : 20 kV

2. Jarak gawang standart : 50 meter

3. Penghantar fasa

Tipe penghantar : AAAC 150 mm²

Tinggi rata – rata : 9,05 (meter)

Jarak horizontal R-S : 90 cm

Jarak horizontal S-T : 90 cm

Jari-Jari (r) : 9,772 mm

Z₁= Z₂ : 0,2162 + j 0,3323 Ω/km

Z₀ : 0,5569 + j 1,0569 Ω/km

h_r : 9,51 meter

a_{rs} : 11,0 meter

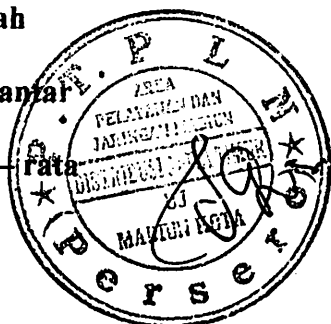
b_{rs} : 0,508 meter

Tegangan (V) : 20 kV

4. Kawat Tanah

Jenis penghantar : STEELWIRE 22 mm²

Tinggi rata – rata : 9,51 meter





5. Isolator

Tipe	: LINE POST
Material	: PORSELIN
Panjang	: 292,1mm
V₅₀ isolator	: 180 kV
BIL (1,2/50 □s)	: 180 kV
V₅₀ isolator + tiang	: 260 kV





B. Konstruksi Tiang Besi

1. Dimensi Tiang

- Panjang** : 13 meter
- Diameter atas** : 4"
- Diameter bawah** : 8 "
- V₅₀ tiang beton** : 20 kV

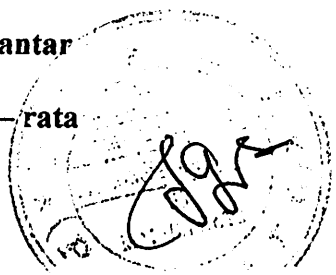
2. Jarak gawang standart : 40 meter

3. Penghantar fasa

- Tegangan (V)** : 20 kV
- Tipe penghantar** : AAAC 120 mm²
- Tinggi rata – rata** : 9,4 (meter)
- Jarak horizontal R-S** : 90 cm
- Jarak horizontal S-T** : 90 cm
- Jari-Jari (r)** : 3,77 mm
- a_{rs}** : 13,0 m
- b_{rs}** : 0,7 m
- h_r** : 10,8 meter
- Z₁ = Z₂** : 0,2688 + j 0,3393 Ω/km
- Z₀** : 0,5674 + j 1,0697 Ω/km

4. Kawat Tanah

- Jenis penghantar** : STEELWIRE 22 mm²
- Tinggi rata – rata** : 10,8 meter



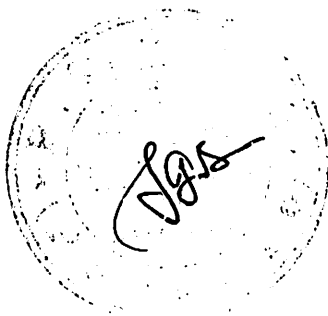


5. Isolator

Tipe	: LINE POST
Material	: PORSELIN
Panjang	: 375 mm
BIL (1,0/40 μs)	: 165 kV
V₅₀ isolator (1,0/40 μs)	: 165 kV
V₅₀ isolator (1,2/40 μs)	: 137,5 KV
Tahanan kontak tiang besi (R)	: 100 Ω
Koefisien kawat tanah (δ)	: 0,3
V₅₀ isolator + tiang	: 217,5 kV

C. Panjang Jaringan

Tiang Besi	: 46,094 km
Tiang beton	: 71,155 km
Total panjang jaringan	: 117,249 km





Data Teknis Konstruksi penyulang manguharjo :

D. Konstruksi Tiang Beton

1. Dimensi Tiang

Panjang : 11 meter

Diameter atas : 8 "

Diameter bawah : 10 "

2. Jarak gawang standart : 50 meter

3. Penghantar fasa

Tipe penghantar : AAAC 150 mm²

Panjang jaringan : 22.136

Tinggi rata – rata : 9,3 (meter)

Jarak horizontal R-S : 90 cm

Jarak horizontal S-T : 90 cm

$Z_1 = Z_2$: 0,2162 + j 0,3323 Ω /km

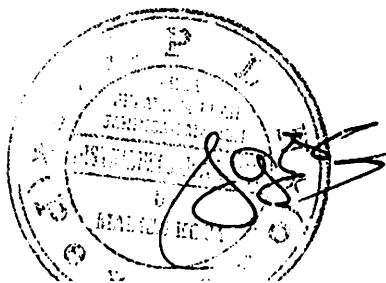
Z_0 : 0,5569 + j 1,0569 Ω /km

4. Isolator

Tipe : LINE POST

Material : PORSELIN

BIL (1,2/50 μ s) : 180 KV



**PT PLN (PERSERO) APJ MADIUN
UJ MADIUN KOTA
GANGGUAN PENYULANG BULAN JANUARI TH 2004**

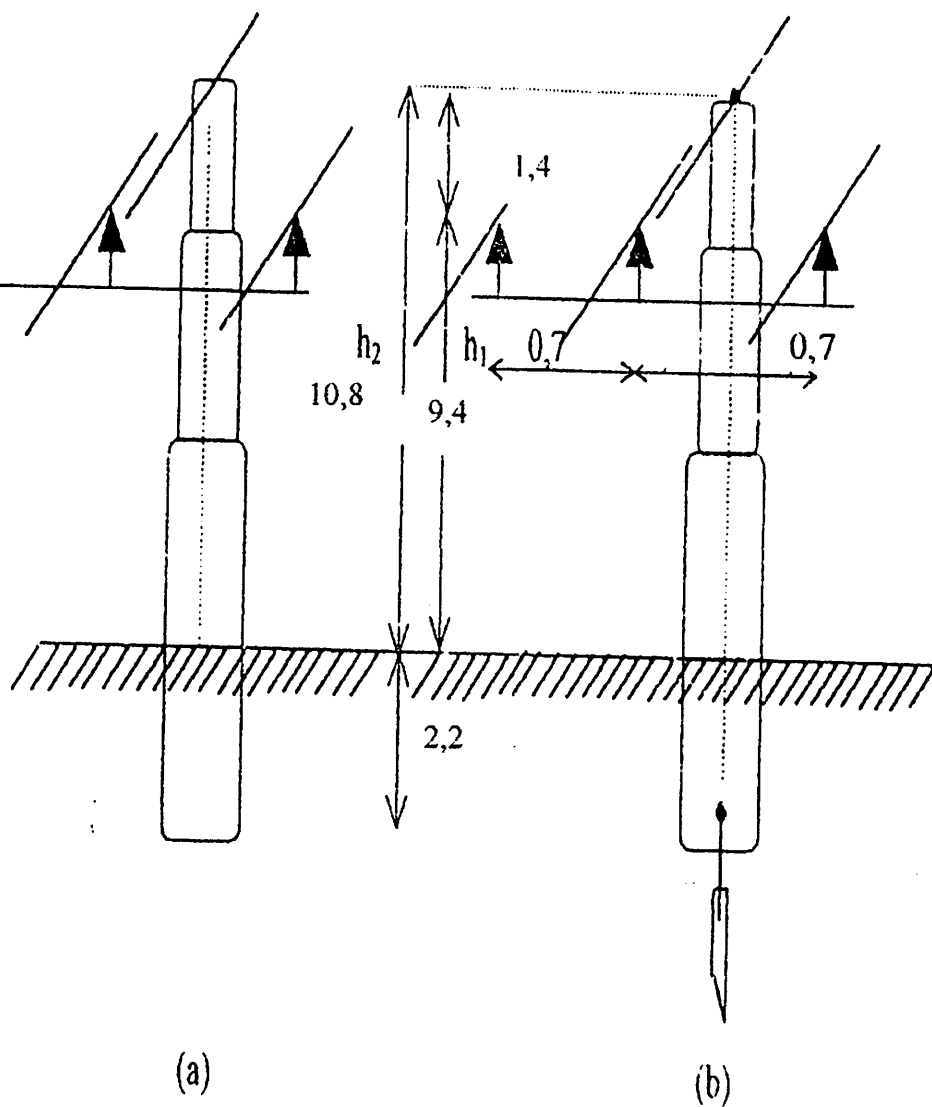
NO	TANGGAL	PENYULANG	JAM		RELAY	PENYEBAB	KET
			LEPAS	MASUK			
1	5-Jan-04	Tendean	6:53	6:54	S 79 L, 67 G	terkena phn pisang di Jl. Kalimosodo	
2	11-Jan-04	Bantengan	19:03	19:05	UFR 95 T	-	
3	12-Jan-04	Setiabudi	7:17	7:17	F 67 G, 079 (F 51)	-	
4	12-Jan-04	Nglames	14:37	14:38	DGR, Kv 0= 19.5 Kv	-	
5	16-Jan-04	Manguharjo	15:12	15:36	DGR, Kv 0= 3 Kv	Kapasitor didepan 501 rusak	
6	16-Jan-04	Bantengan	15:28	16:12	UFR 95 T	PLTU Suralaya Unit 5 trip	
7	27-Jan-04	Mitra	16:25	17:26	CCR Ps=TS, Kv 0= 9Kv	hujan angin dan petir	

GANGGUAN PENYULANG BULAN MARET TH 2004

NO	TANGGAL	PENYULANG	JAM		RELAY	PENYEBAB	KET
			LEPAS	MASUK			
1	1-Mar-04	Manguharjo	15:25	17:15	OCR Ps:RT, DGR Kv 0= 20 Kv	Tidak diketahui	
2	3-Mar-04	Madigondo	14:04	14:05	OCR Ps= T, 21 A.	Tidak diketahui	
		Manguharjo	0:59	14:05	OCR ps= R, 50 A	Tidak diketahui	
3	4-Mar-04	Bantengan	3:58	4:05	UFR 95 T	PLTU Paiton Unit 5 Trip	
4	12-Mar-04	Manguharjo	15:17	16:19	OCR Ps= T Kv 0= 18 Kv	T. 215 jln gajah mada disambar petir	
	12-Mar-04	Bantengan	15:17	15:18	OCR Ps= T		
			15:45	15:46	Tidak bekerja	PMT Bantengan rusak	Manufer ke Nglames
							Masuk total 17:19
5	15-Mar-04	Nglames	10:20	10:35	OCR Ps= T	Tertimpa phn bambu di Ds Mojoyung	



TIANG BESI



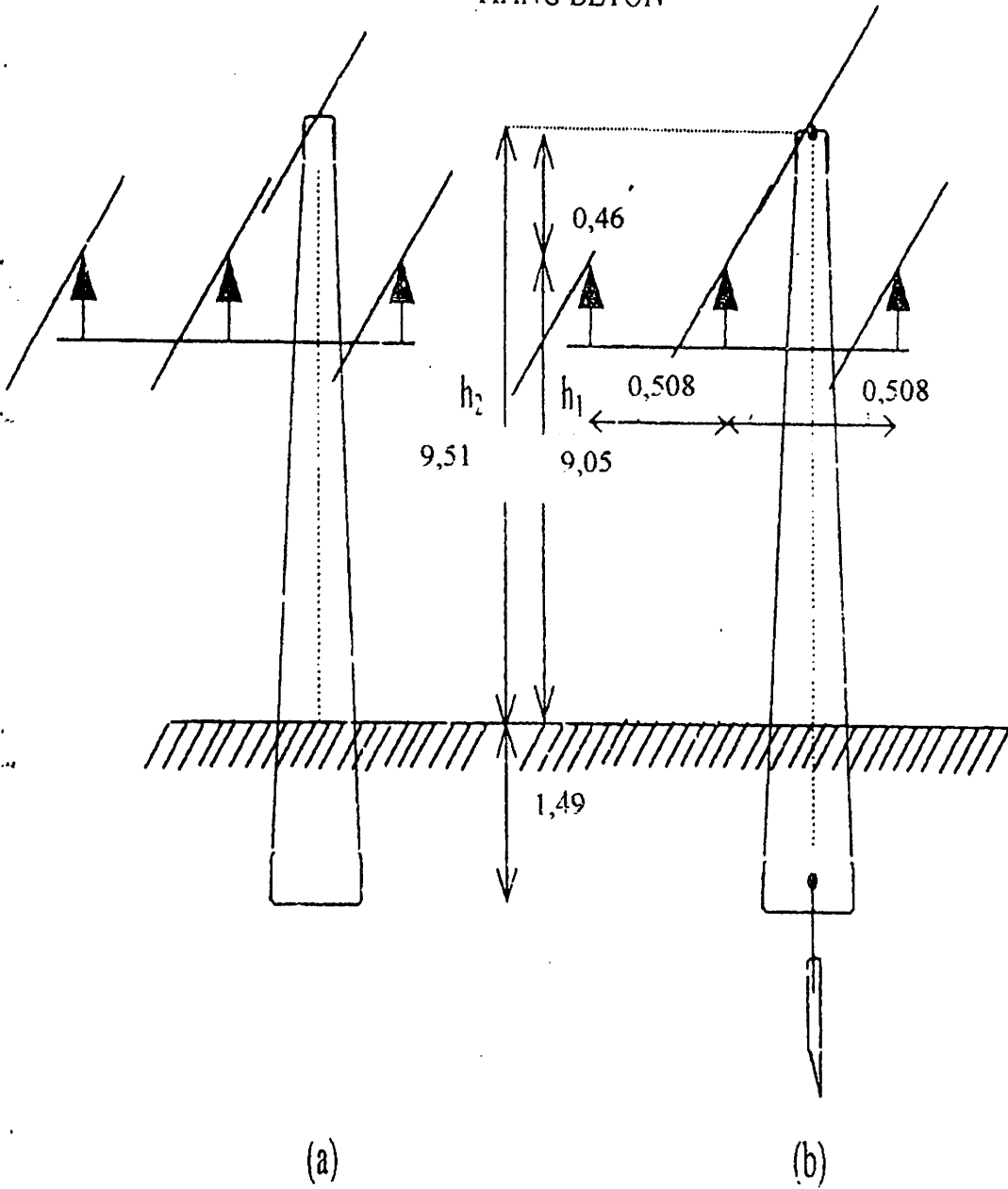
saluran dengan kawat tanah
tak diketanahkan

saluran dengan kawat tanah
diketanahkan



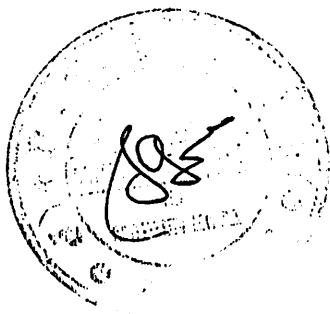


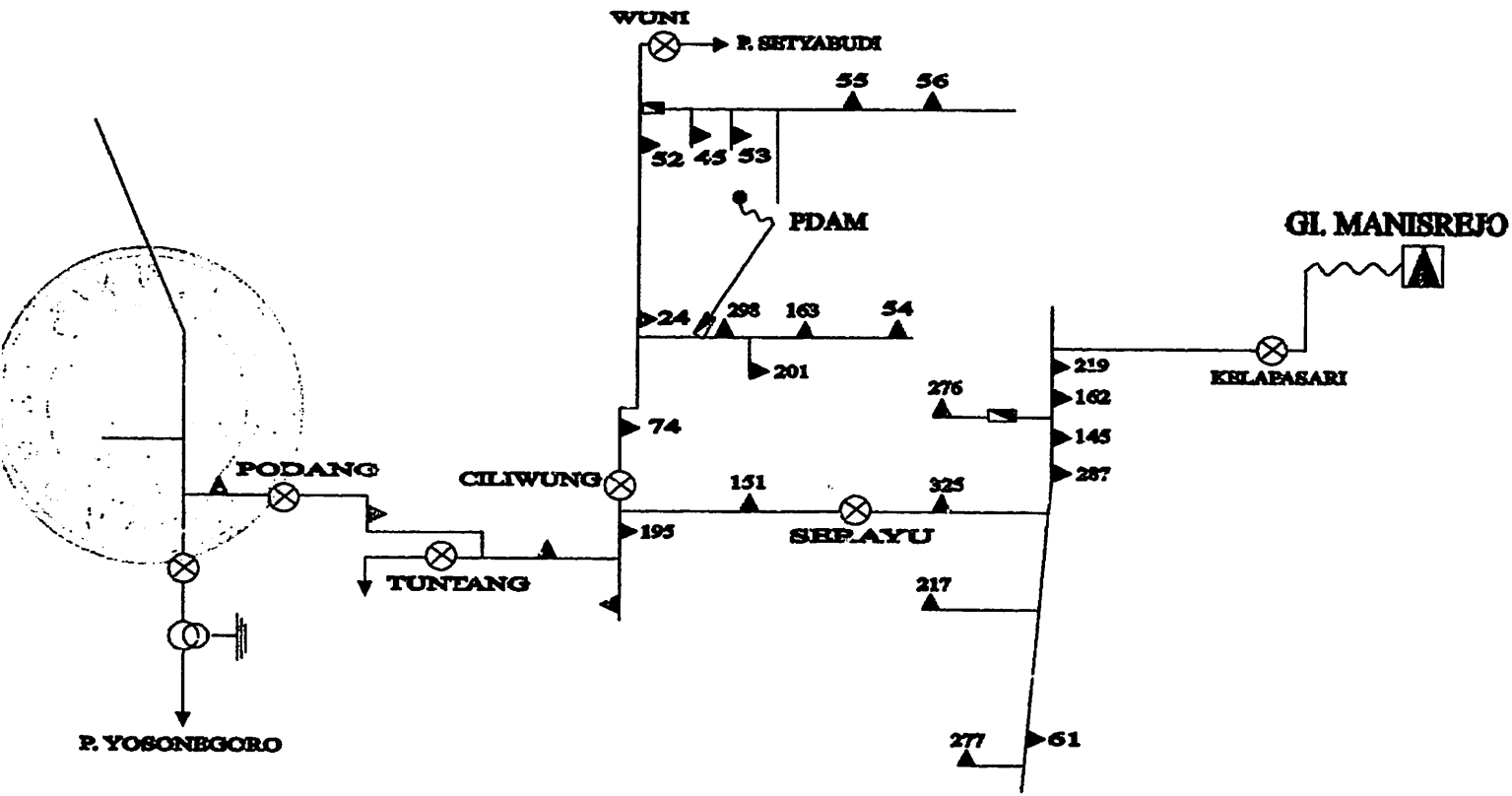
TIANG BETON

















saluran dengan kawat tanah
tak diketanahkan

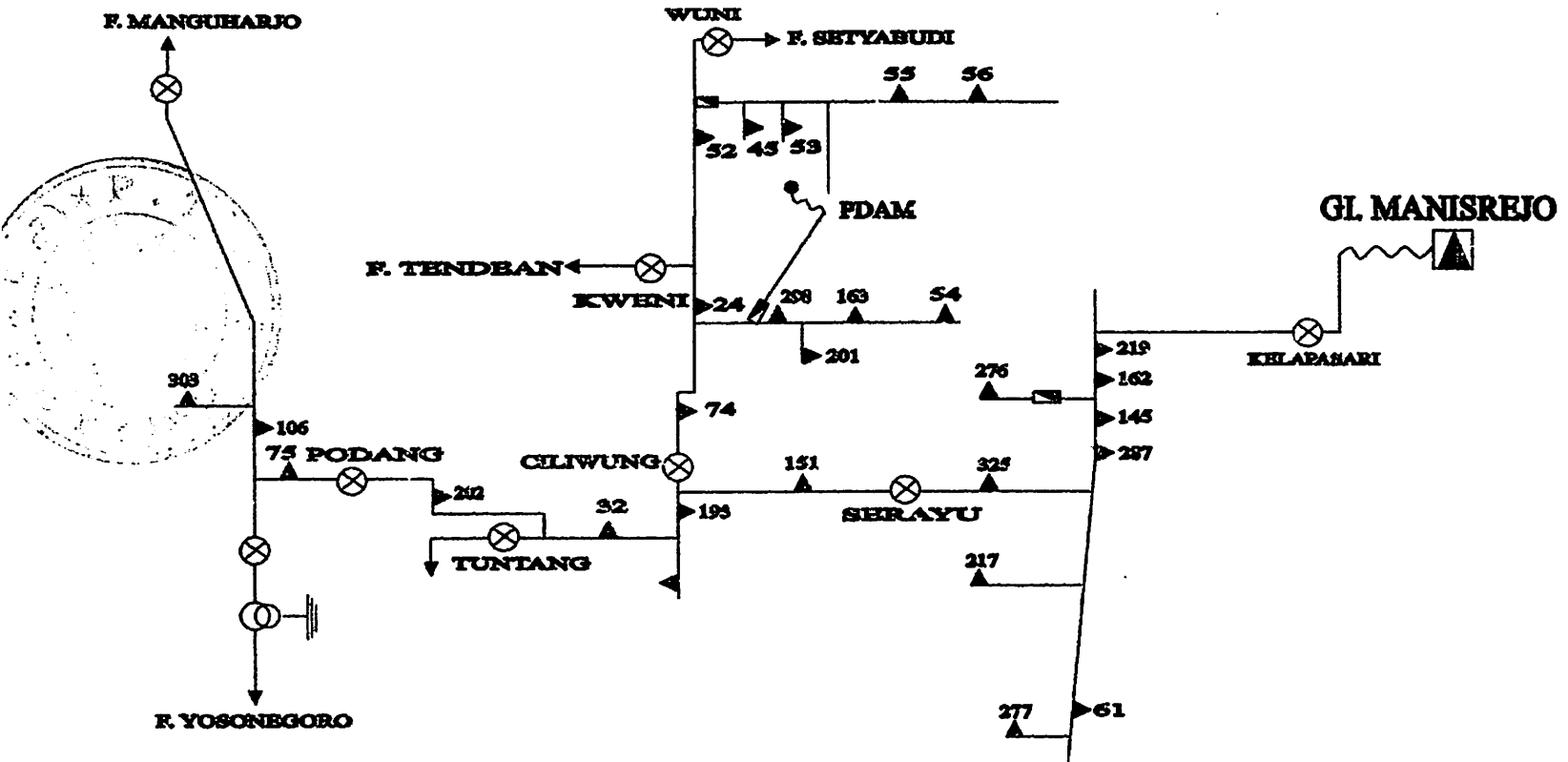
saluran dengan kawat tanah
diketanahkan



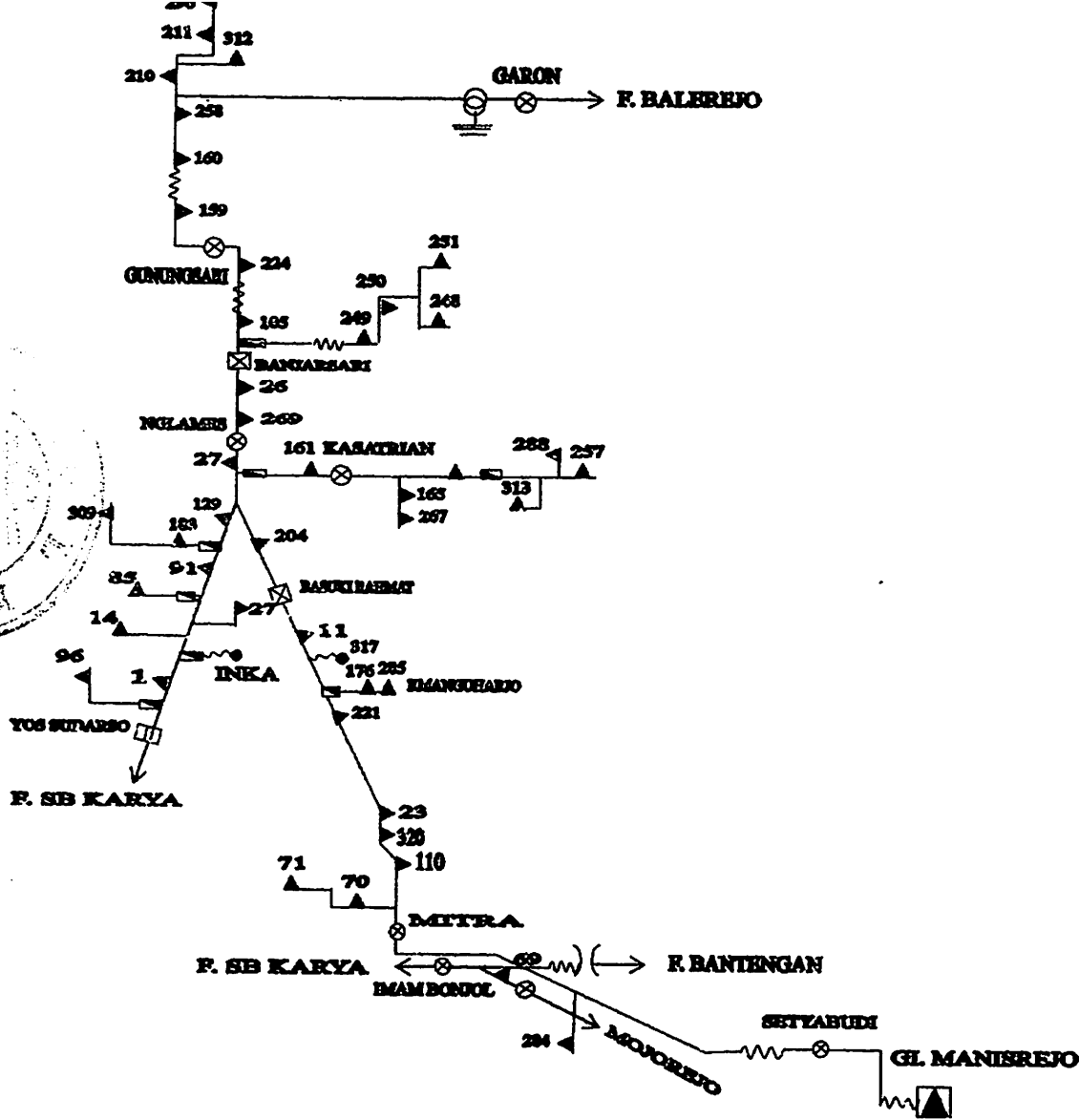
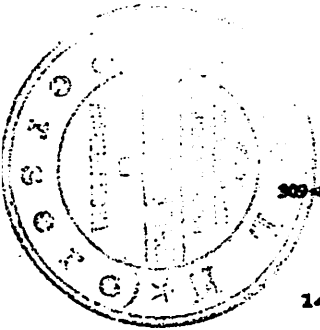


KETERANGAN

-  GARDU INDUK
-  AVS TREE TYPE
-  AVS LOOP TYPE
-  LOAD BREAK SWITCH (L)
-  TRAFU DISTRIBUSI
-  CUT OUT SWITCH
-  A B S
-  P C T
-  A3C 3 X 150 MM2
-  A3C 3 X 110 MM2
-  A3C 3 X 70 MM2
-  A3C 3 X 55 MM2
-  A3C 3 X 150 MM2
-  A3COC 3 X 150 MM2



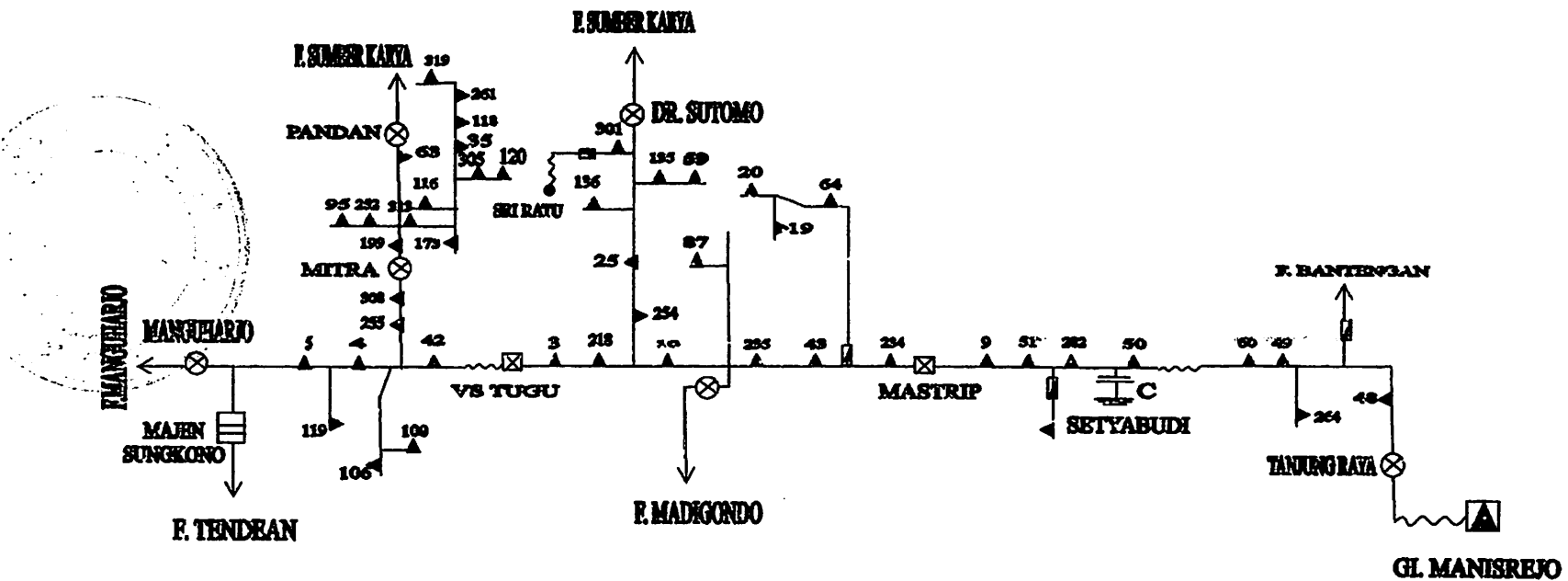
SINGLE LINE DIAGRAM 20 KV
PENYULANG MADIGONDO


















KETERANGAN

- GARDU INDUK
- AVS TREE TYPE
- AVS LOOP TYPE
- LOAD BREAK SWITCH (LBS)
- TRAFODISTRIBUSI
- CUT OUT SWITCH
- ABS
- PCT
- A3C 3 X 150 MM2
- A3C 3 X 110 MM2
- A3C 3 X 70 MM2
- A3C 3 X 55 MM2
- A3C 3 X 150 MM2
- A3COC 3 X 150 MM2
- CVT 3 X 150 MM2

SINGLE LINE DIAGRAM 20 KV
PENYULANG NGLAMES



KETERANGAN

-  GARDU INDUK
 -  AVS TREE TYPE
 -  AVS LOOP TYPE
 -  LOAD BREAK SWITCH
 -  TRAFU DISTRIEBUSI
 -  CUT OUT SWITCH
 -  ABS
 -  PCT
 -  A3C 3 X 150 MM²
 -  A3C 3 X 110 MM²
 -  A3C 3 X 70 MM²
 -  A3C 3 X 55 MM²
 -  A3C 3 X 150 MM²
 -  A3COC 3 X 150 MM²
 -  CVT 3 X 150 MM²
- SINGLE LINE DIAGRAM 20 KV
PENYULANG SETIA BLIDI

Malang,

piran : satu lembar
al : Kesiadaan Sebagai Dosen
Pembimbing Skripsi
da : Yth. Bapak/Ibu. Ir. Soemarwanto
Dosen Jurusan Elektro/T. Energi Listrik
Institut Teknologi Nasional Malang
di-
Malang

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Ipung Nurcahyono
Nim : 9912136
Semester : IX (sembilan)
Jurusan : TELEKTRO
Program Studi : TENERGI LISTRIK

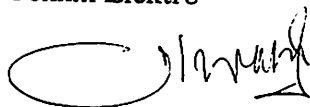
Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama/Pendamping^{*)}, untuk penyusunan Skripsi dengan judul :
ANALISIS KEPRESISIAN LOKASI SURJA PETIR YANG MENYEBABKAN GANGGUAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN (Persero) DISTRIBUSI JAWA TIMUR, AREA MADIUN

seperti proposal terlampir.

Adapun Tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro.

Demikian permohonan kami, atas kesediaan Bapak/Ibu kami ucapkan terimakasih.

Mengetahui,
Ketua Jurusan
Teknik Elektro



Ir. I Made Wartana, MT
Nip. 131 991 182

Malang,

Pemohon,



Nim. : 9912136



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

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

RO) MALANG
A MALANG

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

Malang, 10 Juni 2004

: ITN-560/I.FTI/2/2004
: satu lembar
: **BIMBINGAN SKRIPSI**

: Yth. Sdr. Ir. SOEMARWANTO
Dosen Institut Teknologi Nasional
di -
Malang

Dengan Hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam Proposal Skripsi melalui
Seminar Proposal yang telah dilakukan untuk mahasiswa :

Nama : IPUNG NURCAHYONO
Nim : 9912136
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro
Konsentrasi : T. Energi Listrik (S-1)

Dengan ini pembimbingan skripsi tersebut kami serahkan sepenuhnya
kepada saudara/l selama masa waktu **6 (enam) bulan** terhitung mulai
tanggal:

24 Mei 2004 s/d 24 November 2004

Adapun tugas tersebut merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Elektro.

Demikian atas perhatian serta kerjasama yang baik kami ucapkan terima
kasih



Ketua
Jurusan Teknik Elektro

[Signature]
H. I Made Wartana, MT
Nip. 131 991 182

san :
Mahasiswa yang bersangkutan
ip.

Form. S-4a



LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO / T. ENERGI LISTRIK

1.	Nama Mahasiswa: <u>Ipung nurcahyono</u>		NIM: <u>99 12 136</u>	
2.	Waktu pengajuan	Tanggal	Bulan	Tahun
		<u>11</u>	<u>12</u>	<u>2003</u>
Spesifikasi judul (berilah tanda silang)				
3.	a. Sistem Tenaga Elektrik	<input type="checkbox"/>	d. Pengendalian	<input type="checkbox"/>
	b. Mesin ² Listrik & Elda	<input type="checkbox"/>	e. Pilihan lain ...DISTRIBUSI	<input type="checkbox"/>
	c. Pembangkit Tenaga Elektrik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Konsultasi judul sesuai materi bidang ilmu Kepada Dosen *): <u>Bpk. Ir. Taufik Hidayat, MT</u>		Ketua Jurusan <u>Ir. I Made Wartana, MT</u> NIP. 131 991 182	
5.	Judul yang diajukan mahasiswa	<u>ANALISIS LOKASI KILAT BERPRESISI TINGGI Yang menyebabkan kesalahan DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN (persero) DISTRIBUSI JAWA TIMUR CABANG MADIUN</u>		
6.	Perubahan judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu	<u>ANALISIS KEPRESISIAN LOKASI SETIA PETIR YANG MENYEBABKAN GANGGUAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV DI PT PLN (PERSERO) DISTRIBUSI JAWA TIMUR AREA MADIUN</u>		
7.	<u>Catatan</u>			
3.	Persetujuan judul skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu		Dijetujui Dosen (<u>Ir. Taufik Hidayat, MT.</u>)	

Perhatian :

1. Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan kepada Jurusan paling lambat *satu minggu* setelah disetujui Kelompok Dosen Keahliannya dengan dilampirkan Proposal Skripsi beserta persyaratan Skripsi sesuai Form. S-1.
2. Keterangan : *) dilingkari a, b, c atau f, sesuai bidang Keahlian.
**) diisi oleh Jurusan

PERNYATAAN KESEDIAAN SEBAGAI DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI

Sesuai dengan permohonan mahasiswa/i :

Nama : IPUNG HUTCAHYONO
Nim : 9912136
Semester : ix (sembilan)
Jurusan : Teknik Elektro
Program Studi : Teknik Energi Listrik S-1

Dengan ini menyatakan bersedia/tidak bersedia^{*)} menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping^{*)} untuk penyusunan Skripsi mahasiswa/i tersebut dengan judul: **ANALISIS KEPRESISIAN LOKASI SUMBA PETRE YANG MENYEBABKAN GANGGUAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLM (PESERO) DISTRIBUSI JAWA TIMUR AREA MADIUN**

Demikian pernyataan ini kami buat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 17.05.2011
Yang membuat pernyataan,



Ir. SOEMARWANTO
Nip. : 130 873 464

Catatan :

1. Formulir ini supaya segera diserahkan Mahasiswa/i ybs. ke Jurusan untuk diproses jadwal Praseminar yang pelaksanaan selambat-lambatnya satu bulan setelah ditandatangani Dosen ybs.
2. ^{*)} Coret yang tidak perlu

**PT. PLN (PERSERO)
DISTRIBUSI JAWA TIMUR
AREA PELAYANAN & JARINGAN MADIUN**

Letjen Haryono No. 30 Madiun 63132

: (0351) 452267 s/d 452269, 462624

Telex :

Alamat Kawat :

Pcs:

Faximile : (0351) 464366

: 068/490/MDN/2004

09 Juni 2004

mpiran
hal

: Survey .

KEPADA,
Yth. DEKAN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL.
MALANG
Jl. Bendungan Sigura-gura No.2.
MALANG.

Memperhatikan surat saudara No. ITN - 554 / III.TA / 2 / 2004 tanggal 04 Juni 2004 Perihal Survey di UJ. Madiun Kota PT.PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan Madiun

Dengan ini diberitahukan bahwa pada prinsipnya kami dapat mengijinkan Permohonan Saudara, untuk Mahasiswa yang bernama :

1. IPUNG NURCAHYONO. NIM : 99.12.136

Dengan Catatan sebagai berikut :

1. Survey dilaksanakan mulai tanggal :14 Juni 2004 s/d 13 Juli 2004.
2. Data yang diminta hendaknya terbatas pada hal-hal yang bersifat umum dan dipergunakan untuk keperluan ilmiah.
3. Yang bersangkutan agar mengisi formulir Surat pernyataan terlampir, rangkap 2 (dua) disertai dengan 2 (dua) pas foto ukuran 4 x 6 Cm dan melaporkan ke PT.PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan Madiun Up. SDM & Administrasi.

Demikian untuk diketahui dan atas perhatiannya disampaikan terima kasih

Asman SEM & ADM.

Ir. SUKARSONO

Tembusan :

1. UJ. Madiun Kota

PT. PLN (PERSERO)
DISTRIBUSI JAWA TIMUR
AREA PELAYANAN & JARINGAN MADIUN

Letjen Haryono No. 30 Madiun 63132

: (0351) 452267 s/d 452269, 462624

Telex :

Alamat Kawat :

Pos : Faximile : (0351) 464366

: 068/490/MDN/2004

09 Juni 2004

mpiran :
rihal : Survey .

KEPADA,
Yth. DEKAN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
Jl. Bendungan Sigura-gura No.2.
MALANG.

Memperhatikan surat saudara No. ITN - 554 / III.TA / 2 / 2004 tanggal 04 Juni 2004 Perihal Survey di UJ. Madiun Kota PT.PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan Madiun

Dengan ini diberitahukan bahwa pada prinsipnya kami dapat mengijinkan Permohonan Saudara, untuk Mahasiswa yang bernama :

1. IPUNG NURCAHYONO. NIM : 99.12.136

Dengan Catatan sebagai berikut :

1. Survey dilaksanakan mulai tanggal :14 Juni 2004 s/d 13 Juli 2004.
2. Data yang diminta hendaknya terbatas pada hal-hal yang bersifat umum dan dipergunakan untuk keperluan ilmiah.
3. Yang bersangkutan agar mengisi formulir Surat pernyataan terlampir, rangkap 2 (dua) disertai dengan 2 (dua) pas foto ukuran 4 x 6 Cm dan melaporkan ke PT.PLN (Persero) Area Pelayanan dan Jaringan Madiun Up. SDM & Administrasi.

Demikian untuk diketahui dan atas perhatiannya disampaikan terima kasih

Asman SEM & ADM.

Ir. SUKARSONO

Tembusan :

1. UJ. Madiun Kota



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : IPUNG NURCAHYONO
Nim : 99.12.136
Masa Bimbingan : 24 MEI 2004 s/d 24 NOVEMBER 2004
Judul Skripsi : ANALISIS KEPRESISIAN LOKASI SURJA PETIR YANG MENYEBABKAN GANGGUAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV DI PT. PLN (persero) DISTRIBUSI JAWA TIMUR AREA MADIUN

NO	TANGGAL	URAIAN	PARAF PEMBIMBING
1.	22-06-'04	Bab I : Perbaiki monogram kaligrafis. Bab II : Perbaiki dan Tambah	
2.	25-06-'04	Bab I : Ace Bab II : Perbaiki Lanjutkan ke Bab III	
3.	14-07-'04	Bab II : Ace + Red. Bab III : Masalah kurva yg terakut	
4.	24-08-'04	Bab III : Perbaiki ^{ditinjau dari masalah} Bab II : ace Bab IV : Perbaiki	
5.	31-08-'04	Bab III : Ace Bab IV : Perbaiki !	
6.	03-09-'04	Bab IV : Tambah analisis gangguan untuk >15,63 km <, juga kepresisian lokasi	
7.	07-09-'04	Beri kesimpulan di Bab IV - masalah kesimpulan	
8.	10-09-'04	Ace proposal	
9.	27-09-'04	Ace	
10.	29-10-'04	Bab I ke IV Ace	

Malang, 2004

Dosen Pembimbing

(Ir. Soemarwanto)




Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA :
N I M : 99.12.136
Perbaikan meliputi :

1. judul perlu dinaikkan dg. kenyamanan yg dibahas.
2. jelaskan gambar grafik!

Malang, 28-3-2005

()



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

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

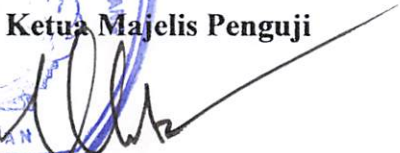
Nama Mahasiswa : Ipung Nurcahyono
N.I.M. : 99.12.136
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : **ANALISIS KEPRESISIAN LOKASI
GANGGUAN AKIBAT SURJA PETIR
PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV
DI PT. PLN (persero) DISTRIBUSI
JAWA TIMUR AREA MADIUN**

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)

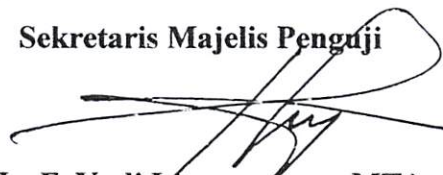
Hari : Senin
Tanggal : 28 Maret 2005
Dengan Nilai : 70,00 (tujuh Pulah Koma Nol Nol) B *Sm*

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

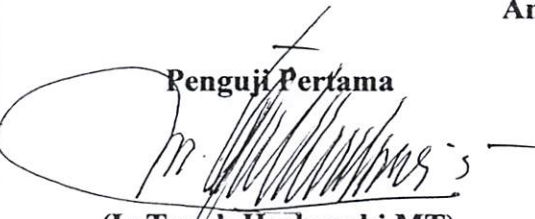

(Ir. Mochtar Asroni, MSME.)
NIP. Y. 101 810 0036

Sekretaris Majelis Penguji

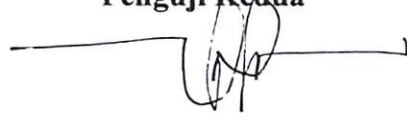

(Ir. F. Yudi Limprantono, MT.)
NIP. Y. 103 950 0274

Anggota Penguji

Penguji Pertama


(Ir. Teguh Herbasuki, MT.)
NIP. Y. 103 890 0209

Penguji Kedua


(Ir. M. Abdul Hamid, MT.)
NIP. Y. 101 880 0188



LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : IPUNG NURCAHYONO
2. NIM : 99.12.136
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISIS KEPRESISIAN
LOKASI GANGGUAN AKIBAT
SURJA PETIR PADA JARINGAN
DISTRIBUSI 20 kV DI PT. PLN
(PERSERO) DISTRIBUSI JAWA
TIMUR AREA MADIUN
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 11 Desember 2003
7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 28 Maret 2005
8. Dosen Pembimbing : Ir. Soemarwanto
9. Telah Dievaluasikan Dengan Nilai : 70,00 (tujuh puluh) *8m*

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.)
NIP. Y. 103 950 0274

Diperiksa dan Disetujui,
Dosen Pembimbing

(Ir. Soemarwanto.)
NIP. 130 873 485



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
JL. Bendungan Sigura-Gura No.2
Malang

FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Ipung Nurcahyono
NIM : 99.12.136
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Masa bimbingan : 24 Mei 2004 s/d 24 November 2004
Judul Skripsi : Analisis Kepresisian Lokasi Gangguan Akibat Surja Petir Pada Jaringan Distribusi 20 kV Di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Madiun

No	Tanggal	Uraian	Paraf Penguji
1	28-03-2005	Judul perlu disesuaikan dengan kenyataan yang di bahas	
2	28-03-2005	Jelaskan gambar grafik	

Disetujui

Penguji Pertama

Ir. Teguh Herbasuki.MT
NIP . Y. 103 890 0209

Penguji kedua

Ir.M. Abdul Hamid.MT
NIP . Y. 101 880 0188

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Ir. Soemarwanto
NIP. 130 873 485