

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



**ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI SUSUNAN
KAWAT KONDUKTOR PADA MENARA TRANSMISI
TERHADAP KEGAGALAN PERISAIAN
PADA SUTET 500 kV**

SKRIPSI

Disusun Oleh :

**HADI WURIONO
NIM : 96.12.075**

OKTOBER 2005

WALAHU AKUMMAH MURIDHINAH MURIDHINAH
MURIDHINAH MURIDHINAH MURIDHINAH
MURIDHINAH MURIDHINAH MURIDHINAH
MURIDHINAH MURIDHINAH MURIDHINAH

MURIDHINAH MURIDHINAH MURIDHINAH MURIDHINAH
MURIDHINAH MURIDHINAH MURIDHINAH MURIDHINAH
MURIDHINAH MURIDHINAH MURIDHINAH MURIDHINAH
MURIDHINAH MURIDHINAH MURIDHINAH MURIDHINAH

MURIDHINAH

MURIDHINAH

MURIDHINAH
MURIDHINAH

MURIDHINAH

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI SUSUNAN
KAWAT KONDUKTOR PADA MENARA TRANSMISI
TERHADAP KEGAGALAN PERISAIAN
PADA SUTET 500 kV

SKRIPSI

*Disusun Dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Mencapai Gelar
Sarjana Teknik Elektro Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh :
HADI WURIONO
NIM : 96.12.075



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

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

Disetujui,
Dosen Pembimbing

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



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

"Jadikanlah Sabar dan Sholat sebagai Penolongmu dan Sesungguhnya yang Demikian Berat Kecuali Bagi yang Khusuk, yaitu Orang-orang yang Meyakini bahwa Mereka akan Kembali kepadanya"

(Q. S, Al - Baqarah : 45 - 46)

"Ya Tuhanku... , Lapangkanlah Untukku Dadaku dan Mudahkanlah Untukku Urusanku dan Lepaskanlah Kekakuanku dari Lidahku agar Mereka Mengerti Perkataanku..."

(Q. S, Thaahaa : 25 - 28)

Alhamdulillah Hirobbil' allamin.....

*Sujud Syukur Kupersembahkan Kepada-Mu ya Allah... Tuhan Pencipta Alam Atas Segala Nikmat dan Ridhomu....
9,5 tahun kuliahku akhirnya selesai juga*

I Dedicate This for...

Kedua Orang Tuaku yang Selalu Sabar Menunggu dan Berdo'a untukku...

Bapak Sutidjo dan ibu Sumilah

Untuk Mas dan Mba'ku di Balikpapan

- Dra. Siti Marliah

- Ir. Dwi Sunu Mudiono

- Sukalmi, SE

- Ambulance Sulianingsih

- Eddy Rianto

Dan Untuk Semua Keluargaku yang ada di Balikpapan dan di Malang Terima Kasih atas Dukungan, Perhatian dan Doa-nya Selama ini...

and My Lovely... Rissa Romadhani

I Wish I Were a Tear...

*So I could Start in Your Eyes, Live on Your Face, and Die on Your Lips
Please..., Still be My Spirit and My Inspiration for Now and Forever*

Semua Sudah Aku Lakukan. Meneteskan Air Mata, Keringat, Bahkan Darah.

Jika Semuanya Berhasil, itu Adalah Hal yang Wajar. Tapi Jika Gagal,

Mungkin itu Surat Tuhan

(Napoleon Bonaparte, 1769 - 1821)

Terima kasihku buat...

Keluarga Azalea 1 Malang

Ayah Rudi, Ibu Ratna Po'il, Tante U'uk, Tante Tika Ngok, Bude Noor-Dhien, Rury Kriting dan gak ketinggalan mba' Yuyun (om PEPEENK dah lulus llio...!!)

*Seluruh Dosen-Dosen Elektro dan Tenaga Pengajar di ITN Malang
Terima Kasih atas semua ilmu yang telah diberikan. Sehingga saya dapat menjadi seorang sarjana...*

Bapak Ir. Teguh Herbasukji, MT

*Terima kasih ya pak, .. Sudah mau jadi dosen pembimbingku.
Hadi gak tahu bagaimana cara membalas semua kebaikan bapak, ...*

*Mas Jayeng..., suwun yo mas.. Dah ngurusin semua birokrasi di Kampus...
Sing sabar lek ngadepi arek-arek yo Mas..., ojo gelek nesu...*

Bu Puji..., makasih dah mau ngurus semua nilai-nilaiiku... Hadi memang gak telaten ngurus nilai bu...

Sukarti, ST

Makasih ya Ti..., dah minjemin aku buku, dah ngasih saran-saran dan cheat-cheat curangnya, he..he..he.. Sekarang aku dah penulih janjiiku padamu kan..??

Andi "Keceng", ST & Exyan "Donald" ST

Makasih atas pinjaman jas-nya dan dah mau nemenin aku ujian kompre... tanpa jas-mu aku ga bisa kompre

Ayie & Keluarga Bantaran Barat I/39 Malang

*Makasih dah dateng di Kompreku dan buat **Ink Tank BCI-21** nya... ntar dibalikin kok, .. tenang aja...!
Bayu "Bee"... kfiatannya kita bakal jadi sodara neh... kapan ke BALUBARONG...??
Dan gak lupa Bpk/Ibu Sutomo. Matur sembah nuwun ngilh pak/bu...*

Agus "Ngelanduk"

Thank's ya Nduk..., dah mau nganter aku ke P3B Jawa-Bali, dah sering benerin My Comp dan nemenin jaga rumah. Kamu cepetan digarap skripsine... ojo mbojo tok..!!

Temen – temen di EF – English First Malang

(Ina, Adji "ndut", Udin, Drg. Nomi, Heru "Thomas", Frans, Chintia, Icha, Reza, Yoga, Rizal, Shanti, Budi, Rida, miss Ita and Friska)

Hi guy's..., I have finished my study now. Thank's for prey and support. I never forget you guy's...

Temen-temen di YPIA – English Course Malang

(Aris, Rusdi, Niken, Rini, Binti, Ivon, Putri, Dian, Yuda, Marfian)

Thank's for having fun-nya. Tetep kompak dan jangan sering bolos ya...

Arek-arek Café – 330

Dimas "Hadi", Joko "Giono", Bimo "Hasyim", Eden "Iwan", Dani, Djatmiko, mba' Susan, mba' Atik, Om Bendot, Dito "Dian", Sugeng, Amar (thank's buat baju putihnya), Harry "Endel" (makasih dah kasih ide...)

Semuanya makasih bgt..., dah sering ngajak aku maen. Jadi aku gak sumpek di rumah sendirian

Tapi kenapa sekarang kalian jarang ke rumahiku yaa...??

ADA APA DENGAN KENTHANG...??

Kak IKA dan Keluarga

Trim's dah bantuin Hadi ngitung sampe malem. Gak kapok kan...??

Willy and DC di Sragen
Thank's dah kasih aku saran dan jalan keluarnya. Kalian kapan nikah neh...??
Kapan-kapan maen bareng ke Yogya lagi yuk..!!

Warga Elektro 1996 (yang blum LULUS...)
Andi "Ahong" (dikau mo pny Baby ya Hong..??), Arif, Candra, Agung, Sonny "Kampesz",
Tatang (cepatan cak, ..., selak tuwek nang kampus lio...), Yuis, Rizal, Zondra "Oon" (jgn Dugem Truss...),
Pak Tulus (Kmana aja, kok gak tau ketok..?), Noer "Basman", Restu "Pendekar Cabul".
Cepetan Lulus rek, ...!!! Selak ITN tutup lio... He..he..he..

Yang Bukan Warga...

Lian "ST-2002" (jarene kate njupuk jurnal nang omahku...? Kapan...?!)
Nelly "Nenek Lincah bin Cerewet"
(Thank's for your Printer Nel... Dikau Dewi penyelamat disaat kita membutuhkan printer.
Ntar tak ganti pake bakso bakar ae yo...?!)
Iin "Kimia '97" (aku dah penuhi janji ku. Anak mu cowo ya..?), Ely "Kimia '96" (lagi ngidam ya bu..? selamat ya) Vivien
"SOB", Shiwi (makasih dah jadi Induk Semang kartu Halo-ku), Renny (gak bikin CD Lagi ta..?)
Hampir lupa, Tomah and Bobby "gendut" (Thank's dah kasih smangat arek-arek ya... sukses buat kalian berdua.

Temen-Temen Seperjuangan...

Anto "Cino Jowo", Anggoro "The Winning Eleven Master", Pak De Bahtiar "The Mechanic", Udin "Ireng",
Zaki "Sasak", Dody, Sufian, ... akhirnya kita bisa juga lulus bareng ya
Gak da lagi panjang x lebar kan? Yang ada panjang x lebar x tinggi. Ha... ha... ha...
Tambah sumpek rek, ...!! Jadi sarjana pengangguran
Mira Santika...?? OYIII...!!!

And then..., thank's for My Computer P II – 400 Mhz
(walaupun kau tua, tapi tetep oyi kok...)
My Scanner "CANON - CanoScan LIDE 20 and My Printer " CANON 210s and CANON Pixma IP 1000"
My Female Motorbike "N 3092 D". Yang udah mau nganter aku kemana-mana dan juga buat kencan..
My phone "Nokia – 6510" yang udah ngasih kemudahan dalam berkomunikasi

To All Radio Station in Malang...
(M – fm, Makobu fm, Kalimaya Baskara fm, Biga fm, WBO fm, Kosmonita fm, Andalus fm, Mas fm, Puspita fm)
and All TV Station...
(RCTI, SCTV, INDOSIAR, TRANS TV, ANTV, METRO TV, TV 7, TPI, JTV, and more...)
Thank's dah menghiburku dan bikin hari-hari ku gak sepi dan bisa tau lagu-lagu terbaru.

Dan yang terakhir...
Untuk semua orang-orang yang menyayangi dan mencintaiku
Yang tak bisa kusebutkan satu-persatu
(Ojo nesu yo, kesel aku rek, ...! Mana kertase entek pisan)

Ku buat skripsi ini dengan rasa cinta dan kasih sayang.
Hanya ucapan dan rasa terima kasih yang bisa aku ucapkan dan
kuberikan kepada kalian semua.
Semoga Tuhan membalas semua kebaikan yang kalian berikan kepadaku. Amien...

Terima kasih...

@ MOTTO : Jalesveva Jayamahe – Di Laut Kita Jaya, Di Darat Kita Buaya @

ABSTRAKSI

ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI SUSUNAN KAWAT KONDUKTOR PADA MENARA TRANSMISI TERHADAP KEGAGALAN PERISAIAN SUTET 500 KV

(Hadi Wuriono, NIM : 96.12.075, 58 halaman),
(Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT)

Kata Kunci : Kawat Konduktor, Menara Transmisi, Sambaran Petir

”Agar jaringan transmisi aman dari gangguan petir, maka perlu diberikan perlindungan, dan dalam tahun terakhir ini penyelidikan telah ditingkatkan seperti disain perisaian atau penamengan, karakteristik sambaran dan perilaku dorongan arus pada tanah. Salah satu upaya untuk memberikan perlindungan pada saluran/jaringan transmisi adalah mengadakan konfigurasi kawat tanah dan kawat fasa pada menara transmisi guna meminimalisasi gangguan sambaran petir pada saluran transmisi lebih mudah dengan melakukan rekayasa terhadap tata letak kawat konduktor dan kawat tanah pada menara saluran transmisi. Dengan konfigurasi yang tepat maka tingkat kegagalan perisaian terhadap saluran transmisi dapat dibuat sekecil mungkin.

Dimana dari hasil perhitungan dapat diambil satu contoh pada tingkat kegagalan perisaian untuk daerah Kediri, untuk fasa R = 0,011 gangguan per 100 km per tahun atau 0,009 gangguan per 100 km per tahun. Untuk fasa S = 0,029 gangguan per 100 km per tahun atau 0,025 gangguan per 100 km per tahun. Untuk fasa T = 2,451 gangguan per 100 km per tahun atau 2,128 gangguan per 100 km per tahun.

Besar jumlah kegagalan perisaian, dapat diminimalisasi dengan mengatur parameter-parameter yang terdapat pada konfigurasi menara, yaitu tinggi kawat konduktor (Y_{ft}) dan kawat tanah (Y_{gt}) pada menara, jarak konduktor ke pusat menara (X_f) dan jarak kawat tanah ke pusat menara (X_g) dengan menggeser posisi kawat tanah dan kawat fasa secara bergantian sehingga akan didapatkan perisaian yang sempurna/tingkat kegagalan perisaian ($N_{sf} \approx 0$ ”.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga dapat terselesaikannya penyusunan buku skripsi ini dengan judul:

“ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI SUSUNAN KAWAT KONDUKTOR PADA MENARA TRANSMISI TERHADAP KEGAGALAN PERISAIAN PADA SUTET 500 KV ”,

Adapun skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan akademik dan guna meraih gelar Sarjana Teknik (S1).

Pada kesempatan ini penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, Selaku Dekan FTI, ITN Malang.
3. Bapak Ir. F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Kajur Teknik Elektro.
4. Ibu Ir. Mimien Mustikawati, selaku Sekjur Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT, selaku Dosen Pembimbing Skripsi.
6. Bapak-bapak pegawai PLN yang bertugas di GITET Kediri Baru.
7. Keluarga dan teman-teman yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Malang, Oktober 2005

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABTRAKSI	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GRAFIK	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Pembahasan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Pembahasan	4
1.6 Sistematika Pembahasan	5
BAB II SAMBARAN PETIR PADA JARINGAN TRANSMISI	
2.1 Gangguan Pada Jaringan Transmisi	6
2.2 Proses Terjadinya Petir	6
2.2.1 Sambaran Mula (<i>Initial Leader</i>)	10
2.2.2 Sambaran Kembali (<i>Retrun Stroke</i>)	11

2.2.3	Terkaman yang Berulang-ulang (<i>Multiple Stroke</i>)	12
2.3	Mekanisme Sambaran Petir	13
2.3.1	Pengaruh Bentuk Permukaan Bumi.....	13
2.3.2	Pengaruh Resistifitas	13
2.3.3	Efek Konduktor Pentanahan.....	13
2.3.4	Kepadatan Sambaran Petir	13
2.4	Tegangan Lebih oleh Surja Petir	14
2.5	Komponen-komponen Utama dari Saluran Transmisi	16
2.5.1	Menara atau Tiang Transmisi	16
2.5.2	Isolator-isolator.....	17
2.5.3	Kawat Penghantar.....	17
2.5.4	Kawat Tanah.....	19
2.6	Pengetanahan Menara Transmisi.....	19

BAB III METODE PERHITUNGAN MINIMALISASI KEGAGALAN PERISAIAN TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA SUTET 500 kV

3.1	Pengukuran Jumlah Sambaran Petir	21
3.1.1	Sambaran Petir ke Tanah.....	21
3.1.2	Menghitung Tinggi Rata-rata kawat Tanah dan Kawat Fasa di Atas Tanah.....	22
3.1.3	Sambaran Petir pada Saluran Transmisi.....	22
3.1.4	Menghitung Daerah A yang Dilindungi Kawat Tanah....	23
3.1.5	Menghitung Kemungkinan Jumlah Lompatan Bunga Api.	23
3.1.6	Menghitung Probabilitas Terjadinya Lompatan Api	24

3.1.7 Menghitung Gangguan Kilat pada Menara	24
3.2 Minimalisasi Kegagalan Perisaian Saluran Transmisi	
Terhadap Gangguan Petir	24
3.2.1 Menghitung Radius Amplop Korona	26
3.2.2 Menghitung Radius Ekuivalen Kawat Tunggal dari	
Kawat Berkas tanpa Korona	26
3.2.3 Menghitung Radius Ekuivalen Kawat Tunggal dari	
Kawat Berkas dengan Korona	27
3.2.4 Menghitung Impedansi Surja Kawat Fasa	
(Kawat Berkas)	27
3.2.5 Menghitung Arus Kilat Minimum yang Menyebabkan	
Lompatan Api	27
3.2.6 Menghitung Jarak Sambaran Minimum	28
3.2.7 Menghitung Lebar Daerah Tidak Terlindungi	28
3.2.8 Menghitung Jarak Sambaran Maksimum	29
3.2.9 Menghitung Arus Maksimum	30
3.2.10 Menghitung Probabilitas Arus Sama atau Melebihi	
I_{min} dan I_{max}	30
3.2.11 Menghitung Gangguan Kilat Karena Kegagalan	
Perisaian	30
3.2.12 Menentukan Kondisi Perisaian Efektif/Sempurna	30

**BAB IV KONFIGURASI KAWAT TANAH DAN KAWAT FASA PADA
MENARA TRANSMISI UNTUK MEMINIMALISASI
KEGAGALAN PERISAIAN SALURAN TRANSMISI DARI
GANGGUAN PETIR**

4.1 Data Saluran Transmisi	32
4.2 Perhitungan Jumlah Sambaran Petir.....	33
4.2.1 Jumlah Sambaran Petir ke Tanah	33
4.2.2 Perhitungan Tinggi Rata-rata Kawat Tanah dan Kawat Fasa di Atas Tanah.....	33
4.2.3 Menghitung Jumlah Sambaran Kilat pada Saluran Transmisi (N_L).....	34
4.2.4 Menghitung Daerah A yang Dilindungi Kawat Tanah....	35
4.2.5 Menghitung Tegangan Lompatan Api dari Isolator	36
4.2.6 Menghitung Probabilitas Terjadinya Lompatan Api	36
4.2.7 Menghitung Gangguan Kilat pada Menara	37
4.3 Perhitungan Minimalisasi Kegagalan Perisaian Saluran Transmisi Terhadap Gangguan Petir	38
4.3.1 Menghitung Radius Amplop Korona	38
4.3.2 Menghitung Radius Ekuivalen Kawat Berkas Tanpa Korona	39
4.3.3 Menghitung Radius Ekuivalen Kawat Tunggal dari Kawat Berkas dengan Korona	39
4.3.4 Menghitung Impedansi Surja Kawat Fasa (Kawat Berkas)...	40
4.3.5 Menghitung Arus Kilat Minimum yang Mengakibatkan Lompatan Api karena Kegagalan Perisaian.....	40

4.3.6 Menghitung Jarak Sambaran Minimum	41
4.3.7 Menghitung Lebar Daerah Tidak Terlindungi.....	42
4.3.8 Menghitung Jarak Sambaran Maksimum.....	44
4.3.9 Menghitung Arus Maksimum	46
4.3.10 Menghitung Probabilitas Arus Sama atau Melebihi I_{min} dan I_{max}	47
4.3.11 Menghitung Gangguan Kilat karena Kegagalan Perisaian..	47
4.3.12 Menentukan Kondisi Perisaian Efektif/Sempurna	48
4.4 Perhitungan Minimalisasi Tingkat Kegagalan Perisaian dengan Melakukan Konfigurasi pada Kawat Tanah dan Kawat Fasa yang Dipasang pada Menara Penyangga.....	49
BAB V KESIMPULAN	57

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1a	Muatan Sepanjang Pinggir Awan Menginduksi Muatan Lawan ke Bumi.....	8
2.1b	Lidah Petir Menjalar ke Bumi	9
2.1c	Kilat Sambaran dari Bumi ke Awan.....	9
2.1d	Kumpulan Muatan pada Jaringan Transmisi.....	9
2.2	Stepped Leader	11
2.3	Sambaran Ulang	12
2.4	Macam-macam Menara Transmisi	17
3.1	Model Elektrogeometris untuk Kegagalan Perisaian pada Saluran Tansmisi	25
3.2	Model Elektrogeometris untuk Perisaian Efektif pada Saluran Transmisi.....	25

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
4.1	Hasil Perhitungan Jarak Sambaran Minimum.....	42
4.2	Hasil Perhitungan Daerah tidak Terlindungi (X_s).....	44
4.3	Hasil Perhitungan Jarak Sambaran Maksimum.....	46
4.4	Hasil Perhitungan Tingkat Kegagalan Perisaian dan Sudut Perlindungan Efektif Saluran Transmisi GI Paiton dan GI Kediri Baru.....	49
4.5	Nilai Nsf Minimum Perubahan pada Konfigurasi Kawat Tanah dan Kawat Fasa R.....	50
4.6	Nilai Nsf Minimum Perubahan pada Konfigurasi Kawat Tanah dan Kawat Fasa S	51
4.7	Nilai Nsf Minimum Perubahan pada Konfigurasi Kawat Tanah dan Kawat Fasa T	52

DAFTAR GRAFIK

Garfik		Halaman
4.1	Garfik Yg Terhadap Nsf (Menggeser Kawat Tanah ke Atas)	53
4.2	Garfik Yg Terhadap Nsf (Menggeser Kawat Tanah ke Bawah) .	53
4.3	Grafik Xg Terhadap Nsf (Menggeser Kawat Tanah ke Luar)	54
4.4	Grafik Xg Terhadap Nsf (Menggeser Kawat Tanah ke Dalam)..	54
4.5	Garfik Yf Terhadap Nsf (Menggeser Kawat Fasa R ke Atas).....	55
4.6	Garfik Yf Terhadap Nsf (Menggeser Kawat Fasa R ke Bawah) .	55
4.7	Grafik Xf Terhadap Nsf (Menggeser Kawat Fasa R ke Luar).....	56
4.8	Grafik Xf Terhadap Nsf (Menggeser Kawat Fasa R ke Dalam)..	56

BAB I

P E N D A H U L U A N

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini kebutuhan akan energi listrik besar sekali, oleh sebab itu diperlukan penyediaan energi listrik yang mencukupi. Dalam hal ini penyaluran daya listrik yang disalurkan dari pusat pembangkit melalui transmisi tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi diharapkan tidak mengalami gangguan agar dapat memenuhi permintaan konsumen.

Adapun gangguan yang sering terjadi adalah sambaran petir pada saluran transmisi, yang dapat mengganggu kestabilan sistim dalam penyaluran energi listrik. Gangguan pada sistim tenaga listrik dapat disebabkan oleh faktor dari dalam (*internal*) maupun faktor dari luar (*eksternal*). Salah satu penyebab gangguan yang berasal dari luar adalah sambaran petir pada sepanjang saluran transmisi, yang merupakan salah satu gangguan yang sangat berbahaya pada saluran transmisi, yang dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar. Pada banyak saluran transmisi, petir adalah penyebab utama gangguan yang tidak dapat diperkirakan. Berbagai hal dilakukan untuk melindungi peralatan listrik dari sambaran petir karena transmisi tenaga listrik lewat saluran udara terbuka merupakan sasaran sambaran petir.

Pada saluran udara tegangan ekstra tinggi 500 kV antara GI Paiton dan GI Kediri Baru ini sering terjadi sambaran petir. Pada dasarnya tidak semua sambaran yang mengenai saluran transmisi dapat mengakibatkan gangguan pada sistim, karena terjadi atau tidaknya gangguan ditentukan oleh besar sudut

perlindungan kawat tanah (pada sambaran langsung) dan besarnya tegangan yang dibangkitkan serta kekuatan isolasinya (pada sambaran tidak langsung).

Agar jaringan transmisi aman dari gangguan petir, maka perlu diberikan perlindungan. Sejumlah metode untuk menduga tingkat serangan telah dikembangkan pada waktu-waktu yang lalu. Dan dalam tahun terakhir ini penyelidikan telah ditingkatkan seperti desain perisaian atau penamengan, karakteristik sambaran dan perilaku dorongan arus pada tanah, dan sekarang studi internasional sedang berupaya untuk mengumpulkan lebih banyak informasi sehubungan dengan hal tersebut. Salah satu upaya untuk memberikan perlindungan pada saluran/jaringan transmisi adalah mengadakan konfigurasi kawat tanah dan kawat fasa pada menara transmisi. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya memberikan hasil bahwa untuk meminimalisasikan gangguan sambaran petir pada saluran transmisi lebih mudah dengan melakukan rekayasa terhadap tata letak kawat konduktor dan kawat tanah pada menara saluran transmisi. dengan konfigurasi yang tepat maka tingkat kegagalan perisaian terhadap saluran transmisi dapat dibuat sekecil mungkin.

1.2 Rumusan Masalah

Atas dasar latar belakang tersebut di atas, maka timbul permasalahan, yang dirumuskan sebagai berikut : "Bagaimanakah pengaruh konfigurasi kawat tanah dan kawat fasa pada menara transmisi agar dapat mengurangi tingkat kegagalan perisaian terhadap gangguan petir ?"

1.3 Tujuan Pembahasan

Tujuan pembahasan tugas akhir ini adalah menganalisa sejauh mana pengaruh konfigurasi kawat tanah dan kawat fasa pada menara transmisi dapat memperkecil tingkat kegagalan perlindungan/perisaian terhadap gangguan petir pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi.

1.4 Batasan Masalah

Pembahasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Analisa dilakukan pada saluran udara tegangan ekstra tinggi 500 kV
2. Data yang digunakan adalah pada saluran transmisi antara GI Paiton – GI Kediri Baru
3. Analisa data hanya untuk pengaruh konfigurasi menara transmisi terhadap kegagalan perisaian sambaran petir menggunakan metode elektromeometris.
4. Konfigurasi dilakukan hanya pada tata letak kawat konduktor dan kawat tanah yang dipasang secara vertikal (tegak) pada menara transmisi.
5. Perhitungan hanya dilakukan pada menara penyangga saja.

1.5 Metodologi Pembahasan

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

1. Studi Literatur

Yaitu mempelajari teori penunjang tentang estimasi terjadinya gangguan akibat sambaran petir pada SUTET 500 kV antara GI Paiton dan GI Kediri Baru , berupa teori mengenai gelombang berjalan dan proteksi surja, dan meminimalisasi tingkat kegagalan perisaian saluran transmisi terhadap sambaran petir.

2. Survei Lapangan

Yaitu melakukan pengamatan dan mencari data-data yang diperlukan yang meliputi :

1. Jumlah hari guruh per tahun atau *Iso Keraunic Level* (IKL) dari Badan Meteorologi dan Geofisika.
 2. Data teknis meliputi : tata letak kawat tanah, kawat fasa, isolator, dan menara beserta pentanahannya.
3. Melakukan konfigurasi atau perubahan terhadap tata letak kawat tanah dan kawat konduktor yang dipasang pada menara transmisi menggunakan metode elektromeoris dan menganalisis tingkat kegagalan perisaian terhadap sambaran petir.
4. Menyimpulkan hasil analisis dari penelitian masalah ini.

1.6 Sistematika Pembahasan

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi lima Bab, dimana secara garis besarnya adalah sebagai berikut :

- BAB I** : Menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, metodologi dan sistematika penulisan.
- BAB II** : Membahas teori-teori tentang gangguan saluran transmisi akibat sambaran petir, yang meliputi proses terjadinya petir, mekanisme sambaran petir, gangguan sambaran petir pada saluran transmisi, komponen-komponen saluran transmisi, dan pengetanahan saluran transmisi.
- BAB III** : Membahas tentang teori perhitungan estimasi terjadinya gangguan pada saluran transmisi akibat sambaran petir dan meminimalisasi tingkat kegagalan perisai terhadap sambaran petir pada SUTET 500 kV antara GI Paiton dan GI Kediri Baru menggunakan metode elektrogeometris.
- BAB IV** : Analisis tingkat kegagalan terhadap sambaran petir pengaruh perubahan tata letak kawat tanah dan kawat fasa menara transmisi pada SUTET 500 kV dengan menggunakan Metode Elektrogeometris.
- BAB V** : Berisikan kesimpulan dari hasil penelitian skripsi ini beserta saran-saran sehubungan hasil penelitian ini.

BAB II

SAMBARAN PETIR PADA JARINGAN TRANSMISI

2.1 Gangguan pada Jaringan Transmisi

Pada pengoperasian sistem tenaga listrik adanya gangguan-gangguan akan mengakibatkan penyaluran daya listrik menjadi terhambat. Dengan terhambatnya penyaluran daya listrik tersebut akan mengakibatkan kerugian yang banyak baik bagi pihak PLN maupun pihak konsumen. Terjadinya gangguan pada jaringan transmisi oleh sambaran petir akan mengganggu sistem transmisi, yakni mengakibatkan adanya tegangan lebih pada saluran transmisi. Dengan adanya tegangan lebih tersebut dapat merusak peralatan karena tegangan tersebut dapat melampaui batas ketahanan yang berakibat terjadinya hubungan singkat antar konduktor fasa dengan kawat tanah sehingga pemutus daya membuka.

Dengan adanya gangguan tersebut akan menyebabkan kerugian-kerugian, diantaranya penurunan tegangan yang dapat mengurangi kerja normal pada peralatan, kemungkinan kerusakan pada isolator atau komponen lain.

2.2 Proses Terjadinya Petir

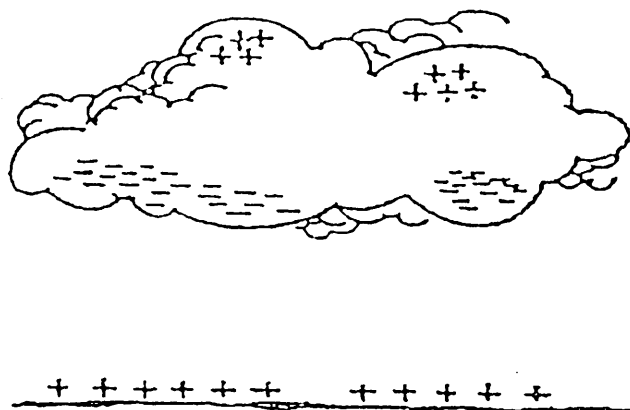
Awan terdiri dari daerah yang bermuatan positif dan negatif. Pusat-pusat muatan ini menginduksikan muatan berpolaritas berlawanan ke awan terdekat atau ke bumi. Gradien potensi di udara antara pusat-pusat muatan di awan atau antara awan dan bumi tidak seragam tapi gradien tersebar timbul pada bagian 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, udara di daerah konsentrasi stress 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 komplis 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 disekitar 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.

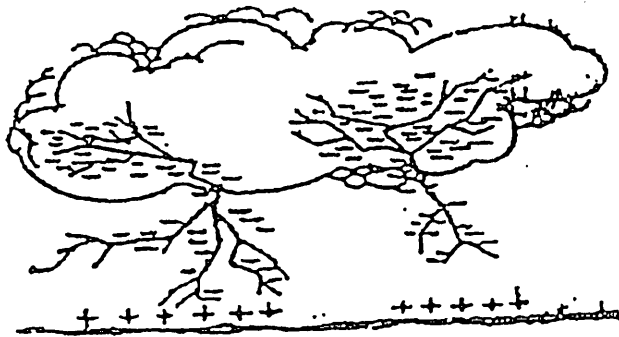
Tegangan ini melampaui ketahanan tegangan jaringan terhadap tanah dari isolasi sistem dan jika tidak cukup dilengkapi dengan pengamanan tegangan lebih, dapat mengawali kerusakan isolasi. Tegangan yang dihasilkan oleh sambaran petir secara karakteristik naik mencapai nilai puncak secara cepat dan kemudian 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 :



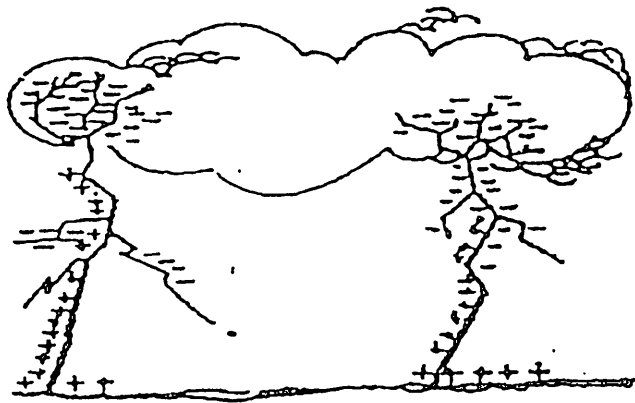
Gambar 2.1a

Muatan sepanjang pinggir awan menginduksi muatan lawan ke bumi

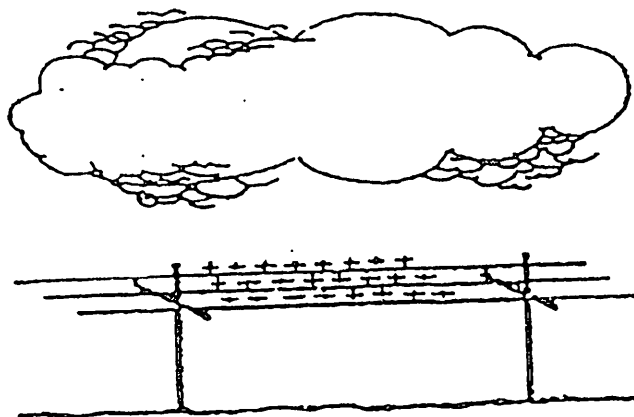
Sumber : PT. PLN, 1997 : 6



Gambar 2.1b
Lidah petir menjalar ke arah bumi



Gambar 2.1c
Kilat sambaran dari bumi ke awan



Gambar 2.1d
Kumpulan muatan pada jaringan transmisi

Sumber : PT. PLN, 1997: 6

Mengingat keadaan muatan listrik yang ada di awan dan bahaya yang terjadi pada sistem tenaga listrik, jika muncul tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir yang tidak mampu ditahan lagi oleh kekuatan isolasi peralatan maka akan terjadi *flashover* atau *breakdown*. Besarnya konsentrasi muatan listrik di awan adalah terbatas, tergantung kemampuan awan itu. Jadi permukaan bumi dapat dianggap sebagai elektroda yang mempunyai luas yang tak terhingga. Gradien tegangan di permukaan bumi tidak melebihi 100 volt/cm jadi pelepasan muatan (*discharge*) cenderung berasal dari awan.

Dari pengamatan dengan Boys Camera, dapat disimpulkan bahwa lidah petir yang tampak oleh mata sebenarnya terdiri dari beberapa sambaran (*stroke*) terpisah yang bergerak turun melalui jalan yang sama. Beberapa istilah dalam sambaran petir adalah : (*Setiyo Saksomo, tanpa tahun : 8*)

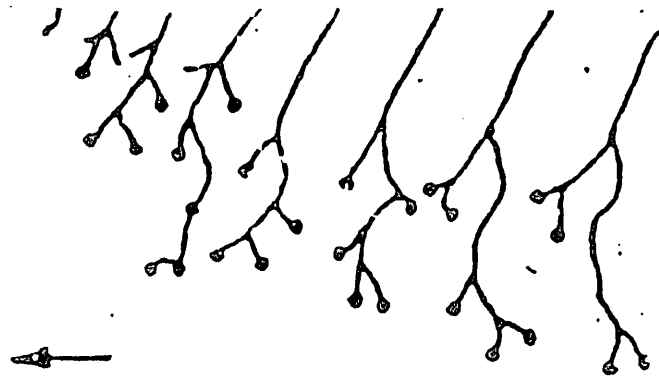
1. Lidah Mula (*Initial Leader*)
2. Sambaran Kembali (*Return Stroke*)
3. Terkaman yang berulang-ulang (*Multiple Stroke*)

2.2.1 Sambaran Mula (Initial Leader)

Permulaan dari suatu kilat didahului oleh aliran pengemudi (*pilot streamer*) yang menentukan arah perambatan muatan dari awan ke udara yang ionisasinya rendah. Karena cahayanya lemah, tidak dapat tertangkap oleh Boys Camera. Aliran pengemudi akan diikuti oleh titik cahaya yang bergerak secara melompat –lompat yang dinamakan *Stepped Leader*. Kecepatan *stepped leader* ini lebih - kurang 100.000 m/detik. Arah tiap – tiap langkahnya berubah-ubah, sehingga jalannya tidak lurus dan terpatah-patah.

Ketika lidah kilat menuju ke bumi, cabang-cabang dari lidah utama akan terbentuk. Bila *stepped leader* telah dekat dengan bumi akan terjadi kanal muatan positif dari bumi ke awan, hal ini disebabkan karena adanya beda potensial yang cukup tinggi.

Kanal muatan positif ini akan bertemu dengan ujung *stepped leader* titik pertemuannya dinamakan *point of strike*, yang berada sekitar 20 – 70 m diatas permukaan bumi. Waktu yang dibutuhkan *stepped leader* agar dapat sampai ke bumi kira – kira 20 m/detik. Untuk lebih jelasnya gambar 2.2 berikut ini memperlihatkan *stepped leader* :



Gambar 2.2. Stepped Leader

Sumber : MS Naidu and V Kamaraju, 1985 : 205

2.2.2 Sambaran Kembali (*Return Stroke*)

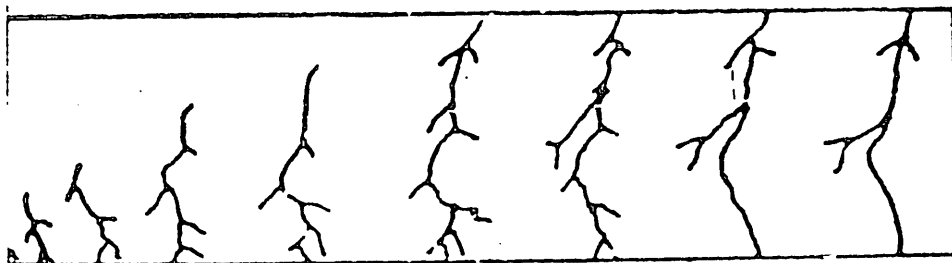
Ketika lidah kilat mengenai bumi, suatu sambaran balik yang sangat terang bergerak keatas melalui jalan yang sama. Sambaran balik terjadi karena adanya aliran muatan positif dari bumi ke awan. Naiknya muatan positif akan menarik lagi elektron yang ada diawan, sehingga dapat terjadi lagi lidah kilat lagi yang menuju ke bumi.

Peristiwa yang demikian ini dinamakan sambaran kembali (*return stroke*).

Lidah kilat ini merupakan arus impuls dimana harga puncaknya terjadi hanya dalam beberapa mikro detik saja dan setiap sambaran rata-rata besarnya 20 kA, dalam keadaan tertentu bahkan dapat mencapai 100 kA.

2.2.3 Terkaman yang berulang-ulang (*Multiple Stroke*)

Sesudah sambaran balik (*return stroke*) yang pertama biasanya masih ada pusat muatan yang lain di awan untuk memulai sambaran petir berikutnya. Sambaran ini dimulai dengan lidah yang mengikuti jalan yang dilalui oleh sambaran balik sebelumnya. Ciri-cirinya tidak ada percabangan, tidak dapat dilihat dengan Boys Camera dan kecepatannya kira-kira 3% dari kecepatan cahaya (0,13 - 10%). Karena ciri-cirinya tidak ada percabangan maka disebut juga dengan lidah panah (*dart leader*). Lidah panah memerlukan waktu 1 milli sekon untuk sampai ke bumi. Lidah panah ini kemudian akan diikuti dengan sambaran balik berikutnya. Selang waktu antara sambaran balik terdahulu dengan lidah panah berikutnya adalah 40–50 milli detik. Umumnya suatu sambaran petir terdiri dari empat *return stroke*. Untuk lebih jelasnya gambar 2.3 berikut ini memperlihatkan sambaran ulang (*Multiple Stroke*) :



Gambar 2.3. Sambaran Ulang

Sumber : MS Naidu and V Kamaraju, 1985: 205

2.3 Mekanisme Sambaran Petir

Mekanisme sambaran petir pada jaringan transmisi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu : (K.T. Sirait dan R. Zoro, 1985: 10)

1. Pengaruh bentuk permukaan bumi
2. Pengaruh resistifitasnya
3. Efek konduktor pentanahan
4. Kepadatan sambaran petir

2.3.1 Pengaruh Bentuk Permukaan Bumi

Petir lebih cenderung menyambar tempat-tempat yang tinggi di permukaan bumi. Hal ini karena kuat medan di sekitar ujung atau puncak bangunan tersebut lebih rapat dan sifat dari muatan akan cenderung mengumpul pada puncak atau ujung dari bagian yang runcing, begitu pula tepian-tepian runcing bangunan.

2.3.2 Pengaruh Resistifitas

Arus petir akan *discharge* ke bumi dengan jalan yang paling konduktif atau kecil resistifitasnya.

2.3.3 Efek Konduktor Pentanahan

Saat konduktor penangkal petir dilalui arus sambaran petir, sangatlah mungkin orang ataupun bangunan disekitarnya akan diloncati oleh arus sambaran tersebut.

2.3.4 Kepadatan Sambaran Petir

Dalam perencanaan pengamanan terhadap sambaran petir maka kepadatannya (frekwensi) harus ditinjau dulu, untuk menentukan mutu pengaman yang akan dipasang. Hal tersebut dapat diketahui dengan banyaknya hari guruh

per tahun pada daerah yang dilaluinya. Banyaknya hari guruh adalah frekwensi guruh di daerah dimana guruh itu ada dan di lintasan yang dilalui oleh saluran transmisinya, banyaknya hari guruh ialah suatu faktor terpenting dalam perencanaan isolasi.

Di Indonesia banyaknya hari guruh setiap tahun untuk setiap tempat yang disebut IKL (*Isokeraunic Level*) dikeluarkan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika. Karena banyaknya hari guruh rata-rata pada setiap tempat dan banyaknya gangguan saluran transmisi akibat petir perlu diketahuiseberapa besar frekwensi petir yang terjadi pada daerah itu. Pada umumnya di daerah yang banyak hari guruhnya dan saluran transmisi yang melalui daerah itu, memerlukan usaha penanggulangan terhadap petir yang cukup dibandingkan dengan daerah yang kurang banyak hari guruhnya. Meskipun demikian, segi ekonomi dan keandalan penyediaan tenaga tidak boleh diabaikan dalam usaha penanggulangan bahaya sambaran petir.

Semakin besar harga kepadatan sambaran petir pada suatu daerah maka kegagalan perlindungan dari suatu saluran transmisi atau gardu induk semakin besar. Kemungkinan terjadinya gangguan penyaluran daya akan semakin besar.

2.4 Tegangan Lebih oleh Surja Petir

Bahaya tegangan lebih yang dapat terjadi pada power sistem (hantaran udara, menara, gardu induk) dapat berupa : (*K.T. Sirait dan R. Zoro, 1986 : 61*)

1. Sambaran langsung

a. Secara langsung pada kawat phasa

Adalah sambaran langsung ke kawat phasa dapat juga menyebabkan timbulnya tegangan lebih pada phasa lainnya sebagai akibat adanya kopling magnetis dari sistem. Tegangan ini dapat juga menyebabkan *flashover* pada isolator udara.

b. Sambaran pada menara

Sambaran langsung pada menara akan menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan yang dapat menyebabkan terjadinya *Back Flash Over*

c. Sambaran pada menara dengan kawat tanah

Jika jarak bebas antara kawat tanah/menara ke kawat phasa terlalu kecil atau sambaran petir dengan arus cukup besar maka akan terjadi tembus (*flashover*) antara kawat tanah/menara ke kawat phasa yang biasa disebut *back flashover*. Dengan pemakaian kawat tanah dapat menurunkan induksi tegangan pada kawat phasa jika terjadi pelepasan muatan dari awan sekitarnya.

d. Sambaran langsung pada gardu mungkin juga terjadi yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan sehingga terhentinya pelayanan daya dalam waktu lama. Kemungkinan sambaran ini dihindarkan dengan melindungi gardu dengan kawat tanah/batang-batang konduktor dan pentanahan yang baik ($< 5\Omega$).

2. Secara tidak langsung (induksi)

Dapat terjadi karena :

- a Induksi elektromagnetik (arus) akibat terjadinya pelepasan muatan di dekat sistem.
- b Induksi elektrostatik sebagai akibat adanya awan bermuatan di atas hantaran udara.

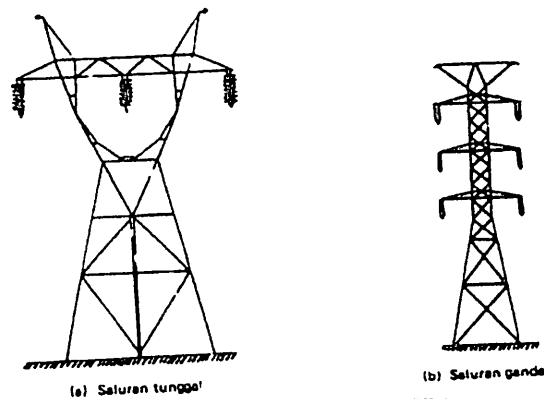
2.5 Komponen-komponen Utama dari Saluran Transmisi

Berbagai komponen-komponen utama dari saluran transmisi terutama pada SUTET terdiri dari : (*T.S. Hutauruk, 1985 : 3*)

1. Menara transmisi atau tiang transmisi beserta fondasinya
2. Isolator-isolator
3. Kawat penghantar (*conductor*)
4. Kawat tanah (*ground wires*)

2.5.1 Menara atau Tiang Transmisi

Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi, yang bisa berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang dan tiang kayu. Tiang-tiang baja, beton atau kayu umumnya digunakan pada saluran-saluran dengan tegangan kerja relatif rendah (dibawah 70 kV) sedang untuk saluran transmisi tegangan tinggi atau ekstra tinggi digunakan menara baja. Ada dua macam bentuk saluran pada menara atau tiang transmisi yaitu saluran tunggal dan saluran ganda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4
Macam-macam Menara Transmisi

Sumber : T.S. Hutauruk, 1985 : 3

2.5.2 Isolator – isolator

Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya dikenal tiga jenis isolator gantung.

Isolator jenis pasak dan pos-saluran digunakan pada saluran transmisi dengan tegangan kerja relatif rendah (kurang dari 22 – 23 kV), sedang isolator gantung dapat digandeng menjadi rentengan isolator yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan atau tingkat polusi daerah yang dilewati oleh saluran transmisi tersebut.

2.5.3 Kawat Penghantar

Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (CU 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5% (CU 97,5%) atau aluminium dengan konduktivitas 61% (Al

61%). Kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis dengan lambing sebagai berikut :

- AAC : "*All – Aluminium Conductor*", yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- AAAC : "*All – Aluminium Alloy Conductor*", yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran Aluminium.
- ACSR : "*Aluminium Conductor Steel- Reinforced*", yaitu kawat penghantar aluminium ber-inti kawat baja.
- ACSR/AS : "*Aluminium Clad Steel- Reinforced*", yaitu kawat penghantar aluminium ber-inti kawat baja dengan tipe AS
- ACAR : "*Aluminium Conductor, Alloy-Reinforced*", yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.
- GSW : "*Galvanized Steel Wire*" yaitu kawat penghantar ber inti kawat baja
- AS : "*Aluminium Clad Steel Wire*" yaitu kawat baja berlapis aluminium.
- OPGW: "*Fiber Optic Ground Wire*" yaitu kawat tanah yang menggunakan serat optik yang berfungsi sebagai transmisi data.

Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium karena konduktivitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi kelemahannya ialah untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dari aluminium telah menggantikan kedudukan tembaga.

Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat aluminium digunakan campuran aluminium (*aluminium alloy*). Untuk saluran – saluran transmisi tegangan ekstra tinggi yang jarak antar dua tiang /menara jauh (ratusan meter), dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Untuk itu digunakan kawat penghantar ACSR, dengan konfigurasi konduktor berkas dengan jumlah sub-konduktor 4 buah.

2.5.4 Kawat Tanah

Kawat tanah atau *ground wire* juga disebut sebagai kawat pelindung (“*shield wires*”) gunanya untuk melindungi kawat-kawat penghantar atau kawat-kawat fasa terhadap sambaran petir. Jadi kawat tanah dipasang diatas kawat fasa. Sebagai kawat tanah umumnya dipakai kawat baja (*steel wires*) yang lebih murah, tetapi tidaklah jarang digunakan ACSR. Untuk saluran udara tegangan ekstra tinggi Paiton – Kediri menggunakan baja Galvanis.

2.6 Pengetanahan Menara Transmisi

Penggunaan tahanan kaki menara untuk melindungi kawat fasa terhadap sambaran langsung dari petir digunakan satu atau dua kawat tanah yang terletak di atas kawat fasa dengan sudut perlindungan lebih kecil 18° . Untuk jaringan transmisi tegangan ekstra tinggi seperti antara GI Paiton dan GI Kediri Baru menggunakan dua kawat tanah. Dengan demikian kemungkinan terjadinya loncatan api karena sambaran petir secara langsung dapat diabaikan. Kemungkinan terjadinya loncatan balik (*back flashover*) karena sambaran kilat secara langsung pada puncak menara atau kawat tanah tetap masih ada, dan untuk menguranginya tahanan kaki menara harus dibuat tidak melebihi 10Ω dapat

diperoleh dengan menggunakan satu atau lebih batang pengetanahan (*Ground road*) dan sistem *counterpoise*. Pemilihan penggunaan batang pengetanahan dan sistim *counterpoise* tergantung dari tahanan jenis tanah dimana menara transmisi berada.

BAB III

METODE PERHITUNGAN MINIMALISASI KEGAGALAN PERISAIAN TERHADAP SAMBARAN PETIR PADA SUTET 500 kV

3.1 Pengukuran Jumlah Sambaran Petir

Konsep dasar yang nampak dalam banyak perhitungan mengenai sambaran petir pada saluran transmisi terbagi luas ke dalam konsep terjadinya (bersangkutan dengan petir pada saluran) dan konsep akibatnya (timbulnya tegangan pada saluran ketika terjadi petir dan kerusakan yang ditimbulkannya). Pengukuran yang berhubungan dengan hal ini adalah mengenai jumlah sambaran petir ke tanah, jumlah sambaran petir ke saluran transmisi, dan jumlah sambaran petir ke menara transmisi.

3.1.1 Sambaran Petir ke Tanah

Secara umum banyaknya sambaran petir ke bumi atau ke suatu saluran transmisi pada suatu tempat tertentu adalah sebanding dengan tingkat hari guruh (hari guntur tahunan) di tempat itu. Prentice (1977) telah memberikan penjelasan yang lengkap dari penelitiannya tentang hubungan antara jumlah petir ke bumi dengan tingkat hari guruh. Kebanyakan peneliti mencapai hubungan yang sebanding yang berkisar antara 0,1 T hingga 0,19 T petir bumi per km² per tahun dimana T adalah jumlah hari guruh dalam hari guruh tahunan. Rata-rata rapatan petir tanah adalah 0,14 T untuk penelitian tersebut. Di daerah terbuka, hubungan sebesar 0,14 T harus dipertahankan.

Jumlah sambaran petir ke tanah pada suatu daerah sebanding dengan IKL daerah tersebut. Banyak peneliti telah melakukan penelitian tentang hal tersebut.

Dan untuk Indonesia, diperoleh jumlah sambaran petir ke tanah yaitu : (T.S. Hutauruk, 1991 : 135).

$$N = 0,15 T \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana,

N = Jumlah sambaran ke bumi per km² per tahun

T = Tingkat hari guruh per tahun (IKL)

3.1.2 Menghitung Tinggi Rata-rata Kawat Tanah dan Kawat Fasa di Atas Tanah

Tinggi rata-rata kawat tanah (h_g) dan kawat fasa (h_f) di atas tanah dinyatakan sebagai berikut : (T.S. Hutauruk, 1991 : 135)

$$h_g \text{ atau } h_f = h_t - 2/3 \text{ andongan} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana ;

h = Tinggi rata-rata kawat tanah di atas tanah, m

h_t = Tinggi kawat tanah pada menara, m

3.1.3 Sambaran Petir pada Saluran Transmisi

Suatu saluran transmisi yang lewat di atas bumi menyebabkan bayang-bayang elektrik pada tanah dibawahnya. Cahaya kilat yang umumnya akan berakhir pada daratan yang berada dalam bayang-bayang akan membentur saluran sebagai gantinya, sedangkan cahaya kilat di luar bayang-bayang akan meluputkan seluruh saluran.

Untuk menghitung jumlah sambaran ke saluran transmisi menggunakan persamaan berikut : (T.S. Hutauruk, 1991 : 135)

$$N_L = 0,015 \cdot T^{1,35} [b + 4h^{1,09}] \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana,

N_L = Jumlah sambaran petir ke saluran transmisi per 100 km per tahun

T = Jumlah hari guruh (IKL)

h = Tinggi rata-rata kawat tanah (m)

b = Jarak antara kedua buah kawat tanah (m)

3.1.4 Menghitung Daerah A yang Dilindungi Kawat Tanah

Luas daerah (A) yang dilindungi oleh kawat tanah dicari dengan persamaan berikut : (T.S. Hutauruk, 1991 : 160)

$$A = 0,1 (b + 4 h^{1,09}) \text{ km}^2 \text{ per 100 km saluran (3.4)}$$

3.1.5 Menghitung Kemungkinan Jumlah Lompatan Bunga Api

Besar kemungkinan jumlah lompatan api dari rentengan isolator dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini : (T.S. Hutauruk, 1985 : 140)

$$V_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{t^{0.75}} \right) \times 10^3 \text{ kV (3.5)}$$

Dimana,

K_1 : 0,4 W

K_2 : 0,71 W

W : Panjang rentengan isolator, (m)

t : Waktu tembus atau waktu lompatan api isolator, (μs)

3.1.6 Menghitung Probabilitas terjadinya Lompatan Api

Probabilitas terjadinya lompatan api dapat dicari dengan persamaan : (T.S.

Hutauruk, 1991 : 139)

$$P_{FL} = e^{-\frac{I_0}{34}} \dots\dots\dots (3.6)$$

3.1.7 Menghitung Gangguan Kilat pada Menara

Untuk menghitung jumlah sambaran petir ke menara menggunakan persamaan : (T. S. Hutauruk, 1991 : 160)

$$N_t = 0,6 \cdot N_L \cdot P_{FL} \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan,

N_T : Jumlah sambaran ke menara per 100 km per tahun

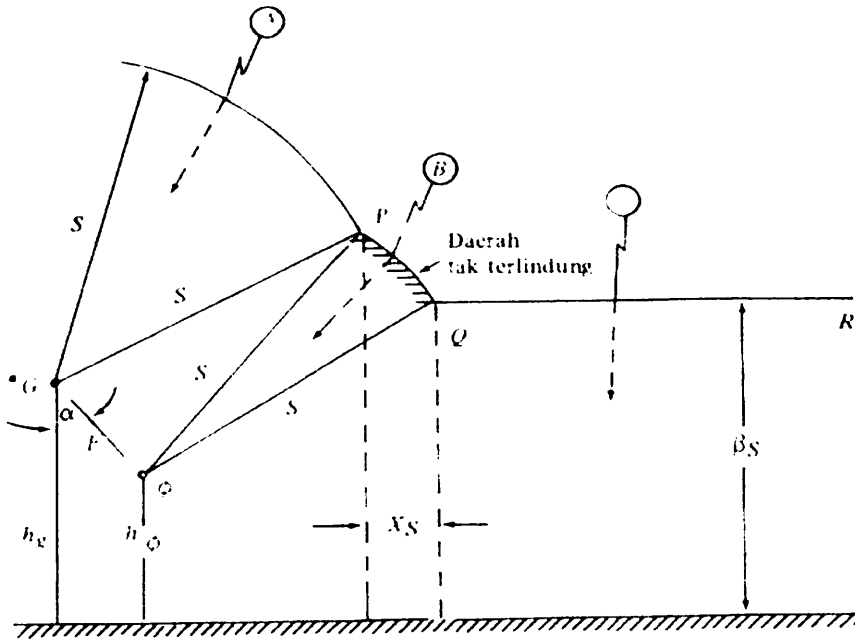
N_L : Jumlah sambaran ke saluran per 100 km per tahun

P_{FL} : Probabilitas terjadinya lompatan api

3.2 Minimalisasi Kegagalan Perisaian Saluran Transmisi terhadap Gangguan Petir

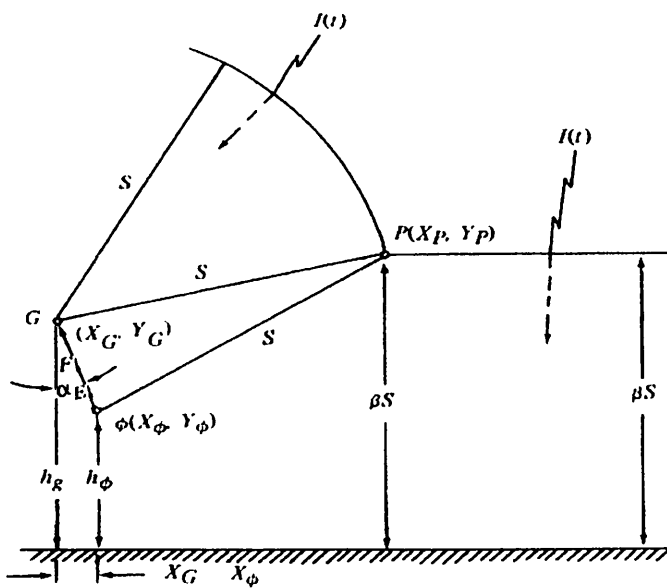
Kegagalan perisaian (*Shielding Failures*) adalah suatu peristiwa dimana suatu sambaran petir mengenai konduktor fasa secara langsung. Kegagalan perlindungan/perisaian terhadap saluran transmisi, dapat dijelaskan berdasarkan kegagalan untuk satu kawat fasa. Jika petir menyambar pada jarak S dari tanah dan saluran sambaran petir itu akan dipengaruhi oleh benda apa saja yang berada di bawahnya dan melompati jarak S untuk mengadakan kontak dengan benda itu.

Gambar 3.1 dan 3.2 berikut adalah model elektromeometris untuk kegagalan perisaian.



Gambar 3.1

Model Elektrogeometris untuk Kegagalan Perisaian pada Saluran Transmisi



Gambar 3.2

Model Elektrogeometris untuk Perisaian Efektif pada Saluran Transmisi

Sumber : T.S. Hutauruk, 1991 : 146

Langkah-langkah untuk perhitungan untuk meminimalisasikan tingkat kegagalan perisaian akibat gangguan petir adalah sebagai berikut :

3.2.1 Menghitung Radius Amplop Korona

Radius amplop korona untuk kegagalan perisaian dapat dicari dengan persamaan berikut : (*T.S. hutauruk, 1991 : 150*)

$$R \ln \frac{2h}{R} = \frac{V_{50\%}}{E_0} \dots\dots\dots (3.8)$$

3.2.2 Meghitung Radius Ekivalen Kawat Tunggal dari Kawat Berkas tanpa Korona

Pada SUTET 500 kV umumnya kawat-kawat phasa terdiri dari kawat berkas. Untuk kawat berkas dengan adanya sub konduktor menyebabkan pengurangan yang sangat besar pada diameter korona efektif dari tiap sub konduktor yang ada. Untuk menghitung radius efektif kawat berkas dengan korona, terlebih dahulu dihitung radius ekivalen dari kawat berkas tanpa korona dengan menggunakan persamaan berikut ini : (*J.G. Anderson, 1982 : 554*)

$$r_{eki} = \sqrt[n]{r_1 d_{12} d_{13} \dots\dots d_{1n}} \dots\dots\dots (3.9)$$

Dimana :

- r_1 : Radius sub-konduktor 1
- d_{1j} : Jarak sub-konduktor 1 ke sub-konduktor j sampai n
- n : Jumlah sub konduktor

3.2.3 Menghitung Radius Ekuivalen Kawat Tunggal dari Kawat Berkas dengan Korona

Untuk menghitung radius efektif dari kawat berkas dengan korona menggunakan persamaan berikut ini : (T.S. Hutauruk, 1991 : 142)

$$R_c = R + r_{eki} \dots\dots\dots (3.10)$$

Untuk menghitung radius amplop korona, tinggi kawat tanah adalah tinggi rata – rata di atas tanah dan juga sama halnya dengan kawat fasa.

3.2.4 Menghitung Impedansi Surja Kawat Fasa (kawat berkas)

Menghitung impedansi surja pada kawat fasa yang terdiri dari kawat berkas dapat menggunakan persamaan berikut ini : (T. S. Hutauruk, 1991 : 143)

$$Z_\phi = 60 \sqrt{\ln \frac{2h}{r_{eki}} \ln \frac{2h}{R_c}} \dots\dots\dots (3.11)$$

Dimana;

h : Tinggi rata-rata kawat fasa di atas tanah, (m)

r_{eki} : Radius ekuivalen kawat berkas, (m)

R_c : Radius korona kawat berkas, (m)

3.2.5 Menghitung Arus Kilat Minimum yang Menyebabkan Lompatan Api

$$I_{min} = \frac{2V_{50\%}}{Z_\phi} \dots\dots\dots (3.12)$$

Dimana;

V_{50%} : Tegangan lompatan api kritis isolator, (kV)

Z_φ : Impedansi surja kawat fasa dengan adanya korona, (Ω)

3.2.6 Menghitung Jarak Sambaran Minimum

Jarak sambaran adalah fungsi dari muatan arus, maka jarak sambaran oleh Whitehead dinyatakan sebagai : (T.S.Hutauruk, 1991 : 147)

$$S = 8 \cdot I_{min}^{0,65} \dots\dots\dots (3.13)$$

Dengan ;

S : Jarak sambaran (m)

I : Arus sambaran (kV)

3.2.7 Menghitung Lebar Daerah Tidak Terlindungi

Untuk menghitung ini perlu diketahui koefisien (β) yang diperbolehkan kecenderungan yang kuat bahwa jarak sambaran akhir dari kilat itu ke bumi.

Harga koefisien β disarankan oleh Anderson sebagai berikut :

$\beta = 1$ untuk tegangan tinggi (SUTT)

$\beta = 0,8$ untuk tegangan ekstra tinggi (SUTET)

$\beta = 0,67$ untuk tegangan ultra tinggi (SUTUT)

Untuk lebar X_S adalah daerah yang tidak terlindungi ini tergantung dari jarak βS dan tinggi rata – rata kawat fasa (Y_ϕ), lebar daerah kyang tidak terlindungi adalah sebagai berikut : (T.S. Hutauruk, 1991 : 147)

1. Bila $\beta S > Y_\phi$

$$X_S = S [\cos \theta + \sin (\alpha_s - \omega)] \dots\dots\dots (3.14)$$

$$\theta = \arcsin \frac{\beta S - Y_\phi}{S} \dots\dots\dots (3.15)$$

$$\omega = \arccos (F / 2S) \dots\dots\dots (3.16)$$

$$\alpha_s = \arctan \frac{X_\phi - X_g}{Y_g - Y_\phi} \dots\dots\dots(3.17)$$

X_ϕ dan Y_ϕ adalah koordinat dari kawat phasa dan X_g dan Y_g , koordinat dari kawat tanah.

2. Bila $\beta < Y_\phi$: $\cos \phi$ diambil = 1, Jadi persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut : (T.S.Hutauruk, 1991 : 147)

$$X_s = S \{ 1 + \sin(\alpha - \omega) \} \dots\dots\dots(3.18)$$

3.2.8 Menghitung Jarak Sambaran Maksimum

Untuk jarak sambaran maksimum dihitung dengan rumus :

$$S_{\max} = Y_0 \left(\frac{-B_s - \sqrt{B_s^2 + A_s C_s}}{A_s} \right) \dots\dots\dots(3.19)$$

Dimana;

$$m = \frac{X_\phi - X_g}{Y_g - Y_\phi} \dots\dots\dots(3.20)$$

$$Y_0 = \frac{Y_g - Y_\phi}{2} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$A_s = m^2 - m^2 \beta - \beta^2 \dots\dots\dots(3.22)$$

$$B_s = \beta (m^2 + 1) \dots\dots\dots(3.23)$$

$$C_s = (m^2 + 1) \dots\dots\dots(3.24)$$

m = kemiringan garis OP

3.2.9 Menghitung Arus Maksimum

Arus sambaran maksimum petir yang dapat mengakibatkan lompatan bunga api :

$$I_{\max} = \left(\frac{S_{\max}}{8} \right)^{0,65} \dots\dots\dots(3.25)$$

3.2.10 Menghitung Probabilitas Arus Sama atau Melebihi I_{\min} dan I_{\max}

$$P_{\min} = e^{-I_{\min}/34} \dots\dots\dots(3.26)$$

$$P_{\max} = e^{-I_{\max}/34} \dots\dots\dots(3.27)$$

3.2.11 Menghitung Gangguan Kilat karena Kegagalan Perisaian

Untuk menghitung jumlah kegagalan perisaian digunakan persamaan :

$$N_{SF} = 0,015 \text{ IKL } X_s (P_{\min} - P_{\max}) \dots\dots\dots(3.28)$$

3.2.12 Menentukan Kondisi Perisaian Efektif/Sempurna

Untuk mencapai suatu kondisi perisaian sempurna (efektif) dapat dilakukan dengan menggeser kawat tanah (dengan syarat konduktor fasa tetap) atau menggeser kawat fasa (dengan syarat kawat tanah tetap) hingga lebar terbuka/daerah tidak terlindungi (X_s) tereduksi menjadi nol. Untuk mencapai perisaian yang sempurna itu, maka jarak rata-rata (X_{GE}) dapat ditentukan dengan persamaan berikut : (Syakur, dkk, 1998 : 2)

$$X_{GE} = \left| \sqrt{S^2 - (\beta S - Y_{\phi})^2} \right| - \left| \sqrt{S^2 - (\beta S - Y_G)^2} \right| \dots\dots\dots(3.29)$$

Dengan : X_{GE} = Koordinat perlindungan efektif kawat tanah (m)

Bila sudut perisaian sempurna, $X_S = 0$, sehingga sudut perisaian efektif, dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$\alpha_E = \arctan \left(\frac{X_g}{Y_\phi - Y_g} \right) \dots\dots\dots(3.30)$$

BAB IV
KONFIGURASI KAWAT TANAH DAN KAWAT FASA PADA MENARA
UNTUK MEMINIMALISASI KEGAGALAN PERISAIAAN
SALURAN TRANSMISI DARI GANGGUAN PETIR

4.1 Data Saluran Transmisi

Data konstruksi menara penyangga SUTET 500 kV Paiton – Kediri Baru :

1. Kawat tanah :
 - a. Jumlah kawat tanah = 2 buah
 - b. Jari-jari :
Kawat tanah GSW : 0,0025 m
Kawat tanah OPGW : 0,0032 m
2. Kawat fasa :
 - a. Jumlah kawat tiap fasa = 4 buah
 - b. Diameter kawat fasa = 0,02576 m
 - c. Jarak sub konduktor = 0,45 m
3. Isolator : panjang rentengan = 4,827 m
4. Menara :
 - a. Tinggi menara rata-rata = 68,260 m
 - b. Tinggi kawat tanah = 68,260 m
 - c. Jarak antara kedua kawat tanah = 15,750 m
 - d. Jarak gawang rata-rata = 450 m
 - e. Jari-jari ekivalen menara = 6,547 m

4.2 Perhitungan Jumlah Sambaran Petir

4.2.1 Jumlah Sambaran Petir ke Tanah

Dari data yang diperoleh diketahui :

Jumlah hari guruh rata – rata per tahun (IKL) untuk daerah Paiton adalah 9,417

Jumlah hari guruh rata – rata per tahun (IKL) untuk daerah Kediri adalah 11,417,

maka jumlah sambaran petir ke tanah dihitung dengan persamaan 3.1 sebagai berikut :

$$N = 0,15 T$$

Untuk daerah Paiton dengan panjang saluran 123,527 km adalah :

$$\begin{aligned} N &= 0,15 \times 9,417 \\ &= 1,412 \text{ sambaran / km}^2 \text{ / tahun} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk daerah Kediri dengan panjang saluran 86,823 km adalah :

$$\begin{aligned} N &= 0,15 \times 11,417 \\ &= 1,712 \text{ sambaran / km}^2 \text{ / tahun} \end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Tinggi Rata-rata Kawat Tanah dan Kawat Fasa di Atas Tanah

Tinggi rata-rata kawat tanah (h_g) dan kawat fasa (h_f) di atas tanah dinyatakan 3.2 sebagai berikut :

$$h_g \text{ atau } h_f = h_t - 2/3 \text{ andongan}$$

Diketahui :

$$\text{Tinggi kawat tanah pada menara } (h_t) = 68,260 \text{ m}$$

$$\text{Andongan kawat fasa dan kawat tanah } (h) = 68,235 \text{ m}$$

1) Tinggi rata – rata kawat tanah di atas tanah (h_g)

$$\begin{aligned}h_g &= h_t - 2/3 \text{ andongan} \\ &= 68,260 - \{(2/3) \times 68,235\} \\ &= 22,77 \text{ m}\end{aligned}$$

2) Tinggi rata – rata kawat phasa (h_f) R :

$$\begin{aligned}h_f &= h_t - 2/3 \text{ andongan} \\ &= 55,458 - [(2/3) \times 55,433] \\ &= 18,503 \text{ m}\end{aligned}$$

3) Tinggi rata – rata kawat phasa (h_f) T :

$$\begin{aligned}h_f &= h_t - 2/3 \text{ andongan} \\ &= 42,656 - [2/3 \times 42,631] \\ &= 14,235 \text{ m}\end{aligned}$$

4) Tinggi rata – rata kawat phasa (h_f) S :

$$\begin{aligned}h_f &= h_t - 2/3 \text{ andongan} \\ &= 29,854 - [2/3 \times 29,829] \\ &= 9,968 \text{ m}\end{aligned}$$

4.2.3 Menghitung Jumlah Sambaran Kilat pada Saluran Transmisi (N_L)

Jumlah sambaran ke saluran transmisi sepanjang 100 km dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.3 seperti berikut ini :

$$N_L = 0,015 \text{ IKL } (b + 4h^{1,09}) \text{ sambaran/100 km/tahun}$$

Dimana :

N_L : jumlah sambaran ke saluran transmisi (sambaran/100 km/tahun)

b : jarak pemisah antara kedua kawat tanah, (m)

h : tinggi rata – rata kawat tanah di atas tanah,

Untuk penelitian ini diperoleh :

$$b = 15,750 \text{ m} = 0,01575 \text{ km}$$

$$h = 22,77 \text{ m} = 0,02277 \text{ km}$$

T untuk daerah kediri diperoleh 11,417 hari guruh per tahun (IKL)

T untuk daerah Paiton adalah 9,417 hari guruh per tahun (IKL)

Dengan demikian N_L untuk daerah Kediri adalah :

$$N_L = 0,015 \times 11,417 \{0,01575 + 4 \times (0,02277)^{1,09}\}$$

$$= 0,0138 \text{ sambaran per } 100 \text{ km per tahun}$$

$$= 0,012 \text{ sambaran}/86,823 \text{ km/tahun}$$

Untuk daerah Paiton adalah :

$$N_L = 0,015 \times 9,417 \{0,01575 + 4 \times (0,02277)^{1,09}\}$$

$$= 0,0114 \text{ sambaran per } 100 \text{ km per tahun}$$

$$= 0,014 \text{ sambaran}/123,527 \text{ km/tahun}$$

4.2.4 Menghitung Daerah A yang Dilindungi Kawat Tanah

Luas daerah (A) yang dilindungi oleh kawat tanah dicari dengan persamaan 3.4 berikut :

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

Diketahui :

$$b = 15,750 \text{ m} = 0,01575 \text{ km}$$

$$h = 22,77 \text{ m} = 0,02277 \text{ km}$$

sehingga,

$$A = 0,1 \{0,01575 + (4 \times 0,02277^{1,09})\}$$

$$= 0,008 \text{ km}^2 \text{ per } 100 \text{ km saluran.}$$

4.2.5 Menghitung Tegangan Lompatan Api dari Isolator

Tegangan lompatan api dari isolator pada waktu rambat gelombang $t = 6 \mu s$ dihitung dengan menggunakan persamaan 3.5. sebagai berikut :

$$V_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{t^{0.75}} \right) \times 10^3 \text{ kV}$$

Diketahui :

Panjang rentengan isolator (W) = 4,827 m

$$K_1 = 0,4 \times 4,827 = 1,9308 \text{ m}$$

$$K_2 = 0,71 \times 4,827 = 3,4272 \text{ m}$$

Waktu rambat gelombang (t) = 6 μs

Maka tegangan lompatan api isolator dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$V_{50\%} = \left(1,9308 + \frac{3,4272}{6^{0.75}} \right) \times 10^3 \text{ kV}$$

$$V_{50\%} = 2.824,769 \text{ kV}$$

4.2.6 Menghitung Probabilitas terjadinya Lompatan Api

Probabilitas terjadinya lompatan api dapat dicari dengan persamaan

3.6 seperti berikut ini :

$$P_{FL} = e^{-\frac{I_0}{34}}$$

$$100 I_0 = V_{50\%}$$

Diketahui :

$$V_{50\%} = 2.824,769 \text{ kV}$$

$$100 \times I_0 = 2.824,7685 \text{ kV}$$

$$I_0 = 28,248 \text{ kA.}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_{FL} &= e^{-\frac{I_0}{34}} \\ &= e^{-(28,248/34)} \\ &= 0,436 \end{aligned}$$

4.2.7 Menghitung Gangguan Kilat pada Menara

Untuk menghitung jumlah sambaran petir ke menara menggunakan persamaan 3.7 :

$$N_t = 0,6 \cdot N_L \cdot P_{FL}$$

Dengan,

N_t = Jumlah sambaran ke menara per 100 km per tahun

N_L = Jumlah sambaran ke saluran transmisi per 100 km per tahun

P_{FL} = Probabilitas terjadinya lompatan api.

Dari hasil perhitungan diperoleh :

N_L untuk daerah Kediri = 0,0138 sambaran per 100 km per tahun

N_L untuk daerah Paiton = 0,0114 sambaran per 100 km per tahun

$P_{FL} = 0,436$, maka

N_t Untuk daerah Kediri adalah :

$$= 0,6 \cdot N_L \cdot P_{FL}$$

$$= 0,6 \times 0,0138 \times 0,436$$

$$= 0,004 \text{ per 100 km per tahun}$$

Dan untuk daerah Paiton adalah :

$$= 0,6 \cdot N_L \cdot P_{FL}$$

$$= 0,6 \times 0,0114 \times 0,436$$

$$= 0,003 \text{ per } 100 \text{ km per tahun}$$

4.3 Perhitungan Minimalisasi Kegagalan Perisaian Saluran Transmisi terhadap Gangguan Petir

Untuk meminimalisasi keagalam perisaian saluran transmisi terhadap gangguan petir dilakukan konfigurasi atas kawat tanah dan kawat fasa yang dipasang pada menara transmisi. Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

4.3.1 Menghitung Radius Amplop Korona

Radius amplop korona untuk kegagalan perisaian dapat dicari dengan persamaan 3.8 berikut :

$$R \ln \frac{2h}{R} = \frac{V_{50\%}}{E_0}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh :

$$h = 22,77 \text{ m}$$

Tegangan lompatan api isolator senilai 2.824,769 kV sedangkan untuk nilai E_0 bisa diambil 1500 kV/meter .

Jadi radius amplop korona dapat dihitung sebagai berikut :

$$R \ln \left(\frac{2 \times 68,260}{R} \right) = \frac{2.824,769}{1500}$$

$$R = 0,383 \text{ m}$$

4.3.2 Menghitung Radius Ekuivalen Kawat Berkas tanpa Korona

Radius ekuivalen dari kawat berkas tanpa korona dihitung menggunakan persamaan 3.9 sebagai berikut :

$$r_{eki} = \sqrt[4]{r_1 d_{12} d_{13} \dots d_{1N}}$$

Diketahui :

Jarak sub konduktor = 0,45 m

Luas penampang konduktor = 392,84 mm²

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{392,84}{3,14}} = 11,182 \text{ mm} = 0,011 \text{ m}$$

$$d_{14} = \sqrt{0,45^2 + 0,45^2} = 0,636 \text{ m}$$

$$d_{12} = d_{13} = 0,450 \text{ m}$$

Sehingga r_{eki} dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$r_{eki} = \sqrt[4]{0,011 \times 0,45 \times 0,45 \times 0,636} = 0,195 \text{ m}$$

4.3.3 Menghitung Radius Ekuivalen Kawat Tunggal dari Kawat Berkas dengan Korona

Radius ekuivalen kawat tunggal dari kawat berkas dengan korona dapat dihitung menggunakan persamaan 3.10 seperti berikut ini :

$$R_c = R + r_{eki}$$

Dengan $R = 0,383 \text{ m}$

$$R_{eki} = 0,195 \text{ m, sehingga}$$

$$R_c = 0,383 + 0,195 \text{ m}$$

$$= 0,578 \text{ m}$$

4.3.4 Menghitung Impedansi Surja Kawat Fasa (kawat berkas)

Impedansi surja kawat berkas (kawat Fasa) dihitung dengan persamaan 3.11 sebagai berikut :

$$Z_{\phi} = 60 \sqrt{\ln \frac{2h}{r_{eki}} \ln \frac{2h}{R_c}}$$

Dimana

$$h = 18,503 \text{ m}$$

$$R_{eki} = 0,195 \text{ m}$$

$$R_c = 0,578 \text{ m}$$

Sehingga untuk saluran I fasa R diperoleh :

$$Z_{\phi} = 60 \sqrt{\ln \frac{2 \times 18,503}{0,195} \ln \frac{2 \times 18,503}{0,578}}$$

$$Z_{\phi} = 280,291 \text{ } \Omega$$

Hasil perhitungan untuk fasa S dan T serta untuk saluran II dapat dilihat pada Tabel 4.1.

4.3.5 Menghitung Arus Kilat Minimum yang Mengakibatkan lompatan api karena kegagalan perisaian :

Arus kilat minimum yang dapat mengakibatkan lompatan api dihitung dengan persamaan 3.12 :

$$I_{\min} = \frac{2V_{50\%}}{Z_{\phi}}$$

Diketahui :

$$V_{50\%} = 2.824,768 \text{ kV}$$

$$Z_{\phi} = 280,291 \text{ } \Omega$$

Arus kilat minimum untuk saluran I fasa R adalah :

$$I_{\min} = \frac{2 \times 2.824,768}{280,291}$$
$$= 20,156 \text{ kA.}$$

Sedangkan untuk fasa yang lain dan untuk saluran II hasil perhitungannya disajikan dalam Tabel 4.1.

4.3.6 Menghitung Jarak Sambaran Minimum

Untuk menghitung jarak sambaran minimum digunakan persamaan 3.13 seperti berikut ini :

$$S = 8 \cdot I_{\min}^{0,65}, \text{ sehingga}$$

Untuk saluran I fasa R diperoleh hasil sebagai berikut :

$$I_{\min} =$$
$$S = 8 \cdot (20,156)^{0,65}$$
$$= 56,358 \text{ m}$$

Hasil perhitungan untuk fasa S dan T dan untuk saluran II disajikan secara lengkap dalam Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1

Hasil Perhitungan Jarak Sambaran Minimum

Saluran	Phasa	h_t (m)	r (m)	R (m)	Y_f (m)	I_{min} (kA)	S_{min} (m)
I	R	22,77	0,0025	0,383	18,503	20,156	56,358
	S	22,77	0,0025	0,383	14,235	21,364	58,530
	T	22,77	0,0025	0,383	9,968	23,260	61,856
II	R	22,77	0,0032	0,383	18,503	20,156	56,358
	S	22,77	0,0032	0,383	14,235	21,364	58,530
	T	22,77	0,0032	0,383	9,968	23,260	61,856

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3.7 Menghitung Lebar Daerah Tidak Terlindung

Untuk menghitung lebar daerah tidak terlindung ini perlu diketahui koefisien β_S . Harga β yang disarankan oleh Anderson untuk SUTET adalah 0,8.

Untuk saluran I fasa R :

$S = 56,358$ m, sehingga

$$\beta S = 0,8 \times 56,358 \text{ m}$$

$$= 45,086 \text{ m.}$$

$\beta S >$ harga Y_ϕ .

Dengan demikian perhitungan lebar daerah tidak terlindung (X_S) dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.14 berikut :

$$X_S = S [\cos \theta + \sin (\alpha_S - \omega)]$$

Untuk mencari θ digunakan persamaan 3.15 :

$$\theta = \arcsin \frac{\beta S - Y_\phi}{S}$$

dimana, $Y_\phi = Y_f =$ tinggi rata-rata kawat fasa di atas tanah.

Untuk fasa R, $Y_{\phi} = 18,503$ m, sehingga

$$\theta = \arcsin \left(\frac{(0,8 \cdot 56,357) - 18,503}{56,357} \right)$$

$$= 28,14^{\circ}$$

Untuk mencari ω digunakan persamaan 3.16 :

$$\omega = \arccos (F/2S)$$

$$= \arccos \left(\frac{20,297}{2 \times 56,358} \right)$$

$$= 79,63^{\circ}$$

Sedangkan untuk mencari α_S digunakan persamaan 3.17 :

$$\alpha_S = \arctan \left(\frac{X_{\phi} - X_G}{Y_G - Y_{\phi}} \right)$$

$$= \arctan \left(\frac{12,895 - 7,875}{22,77 - 18,503} \right)$$

$$= 49,635^{\circ}$$

Lebar daerah tidak terlindung (X_S) adalah

$$X_S = 56,358 \cdot [\cos 28,14 + \sin (49,635 - 79,63)]$$

$$= 21,523 \text{ m.}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk hasil perhitungan saluran

I phasa S dan T dan saluran II dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2

Hasil Perhitungan Daerah Tidak Terlindung (X_s)

Saluran	Phasa	S _{min} (m)	Y _G (m)	Y _f (m)	X _G (m)	X _f (m)	θ (°)	ω (°)	α _s (°)	X _s (m)
	R	56,358	22,77	18,503	7,875	12,895	28,14	79,63	49,64	21,523
I	S	58,530	22,77	14,235	7,875	12,895	33,83	80,01	30,46	4,077
	T	61,856	22,77	9,968	7,875	12,895	39,70	80,56	21,41	-5,514
	R	56,358	22,77	18,503	7,875	12,895	28,14	79,63	49,63	21,523
II	S	58,530	22,77	14,235	7,875	12,895	33,83	80,01	30,46	4,077
	T	61,856	22,77	9,968	7,875	12,895	39,70	80,56	21,41	-5,514

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3.8 Menghitung Jarak Sambaran Maksimum

Jarak sambaran maksimum dihitung dengan rumus seperti pada persamaan

3.19 berikut :

$$S_{\max} = Y_0 \left(\frac{-B_s - \sqrt{B_s^2 + A_s C_s}}{A_s} \right)$$

Untuk Saluran I phasa R :

Untuk dapat menghitung jarak sambaran maksimum maka terdahulunya dihitung :

1) Y₀, menggunakan persamaan 3.21 :

$$\begin{aligned} Y_0 &= \frac{y_g + y\phi}{2} \\ &= \frac{22,77 + 18,503}{2} \\ &= 20,637 \text{ m} \end{aligned}$$

2) m , dihitung menggunakan persamaan 3.20 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} m &= \frac{X_\phi - X_G}{Y_G - Y_\phi} \\ &= \left(\frac{12,895 - 7,875}{22,77 - 18,503} \right) \\ &= 1,176 \text{ m} \end{aligned}$$

3) A_s dihitung dengan persamaan 3.22 berikut :

$$\begin{aligned} A_s &= m^2 - m^2\beta - \beta^2 \\ &= (1,1765)^2 - \{(1,1765)^2 \cdot (0,80)\} - (0,80)^2 \\ &= -0,363 \text{ m} \end{aligned}$$

4) B_s dihitung menggunakan persamaan 3.23 :

$$\begin{aligned} B_s &= \beta (m^2 + 1) \\ &= 1,907 \text{ m} \end{aligned}$$

5) C_s dicari dengan persamaan 3.24 :

$$\begin{aligned} C_s &= (m^2 + 1) \\ &= 2,384 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga S_{\max} dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_{\max} &= Y_0 \left(\frac{-B_s - \sqrt{B_s^2 + A_s C_s}}{A_s} \right) \\ &= 20,6365 \cdot \left(\frac{-1,9073 - \sqrt{(1,9073)^2 + (-0,3632 \times 2,3841)}}{-0,3632} \right) \\ &= 202,973 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan untuk fasa S da T juga untuk saluran II dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3
Hasil Perhitungan Jarak Sambaran Maksimum

Saluran	Phasa	Yo (m)	m (m)	A _s (m)	B _s (m)	C _s (m)	S _{max} (m)
I	R	20,637	1,176	-0,363	1,907	2,384	202,973
	S	18,503	0,588	-0,571	1,077	1,346	55,174
	T	16,369	0,392	-0,609	0,923	1,154	35,171
II	R	20,637	1,176	-0,363	1,907	2,384	202,973
	S	18,503	0,588	-0,571	1,077	1,346	55,174
	T	16,369	0,392	-0,609	0,923	1,154	35,171

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3.9 Menghitung Arus Maksimum

Arus sambaran maksimum petir yang dapat mengakibatkan lompatan bunga api dihitung dengan persamaan 3.25 berikut :

$$I_{\max} = \left(\frac{S_{\max}}{8} \right)^{1/0,65}$$

Dengan demikian untuk saluran I fasa R, besarnya arus sambaran maksimum adalah :

$$\begin{aligned} I_{\max} &= \left(\frac{202,973}{8} \right)^{1/0,65} \\ &= 144,723 \text{ kA} \end{aligned}$$

Dan untuk fasa lain saluran I serta untuk saluran II hasil perhitungannya disajikan dalam Tabel 4.4.

4.3.10 Menghitung Probabilitas Arus Sama atau Melebihi I_{Min} dan I_{Max}

Perhitungan probabilitas arus sama atau melebihi I_{Min} dan I_{Max} menggunakan persamaan 3.26 dan 3.27.

Untuk fasa R saluran I :

$$\begin{aligned}P_{min} &= e^{-I_{min}/34} \\ &= e^{(-20.156/34)} \\ &= 0,553\end{aligned}$$

Sedangkan besarnya P_{maks} adalah

$$\begin{aligned}P_{maks} &= e^{-I_{maks}/34} \\ &= e^{(-144,723/34)} \\ &= 0,014\end{aligned}$$

4.3.11 Menghitung Gangguan Kilat karena Kegagalan Perisaian

Untuk menghitung jumlah gangguan petir karena kegagalan perisaian digunakan persamaan 3.28 :

$$N_{SF} = 0,015 \text{ IKL } X_s (P_{min} - P_{max})$$

Jumlah gangguan pada phasa R

Untuk daerah Kediri dengan panjang saluran 86,823 km, IKL = 11,417

$$\begin{aligned}N_{SF} &= 0.015 \times 11,417 \times 21,523 \times (0,553 - 0,014) \\ &= 0,011 \text{ gangguan /100 km/ tahun.} \\ &= 0,009 \text{ gangguan /86,823 km/ tahun.}\end{aligned}$$

Untuk daerah Paiton dengan panjang saluran 123,527 km IKL = 9,417

$$\begin{aligned}N_{SF} &= 0,015 \times 9,417 \times 21,523 \times (0,553 - 0,014) \\ &= 0,009 \text{ gangguan /100 km/tahun}\end{aligned}$$

= 0,011 gangguan /123,527 km/ tahun.

Untuk perhitungan fasa-fasa yang lain, hasilnya dapat dilihat pada Tabel

4.4.

4.3.12 Menentukan Kondisi Perisaian Efektif/Sempurna

Kondisi perisaian efektif atau sempurna dihitung menggunakan persamaan

3.29 berikut :

$$X_{GE} = \left| \sqrt{S^2 - (\beta S - Y_{\phi})^2} \right| - \left| \sqrt{S^2 - (\beta S - Y_G)^2} \right|$$
$$X_{GE} = \left| \sqrt{(56,357)^2 - \{(0,8 \times 56,357) - 18,503\}^2} \right| - \left| \sqrt{(56,357)^2 - \{(0,8 \times 56,357) - 22,77\}^2} \right|$$

$$X_{GE} = 2,057 \text{ m}$$

Dan besarnya sudut perisaian efektif, dapat dicari dengan menggunakan

persamaan 3.30 :

$$\alpha_E = \arctan \left(\frac{X_G}{Y_{\phi} - Y_G} \right)$$
$$\alpha_E = \arctan \left(\frac{7,875}{18,503 - 22,77} \right)$$
$$= \arctan (0,482)$$
$$= 25,73^\circ$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4

Hasil Perhitungan Tingkat Kegagalan Perisaian dan Sudut Perlindungan Efektif Saluran Transmisi GI Paiton dan GI Kediri Baru

I_{\max} (kA)	P_{\min}	P_{\max}	N_{SF} Kediri	Paiton	X_{GE} (m)	α_E ($^\circ$)
144,723	0,553	0,014	0,011	0,009	2,057	25,73
19,508	0,533	0,563	0,029	0,024	4,741	29,05
9,758	0,505	0,751	2,451	2,022	8,202	32,65

Sumber : Hasil Perhitungan

4.4 Perhitungan Minimalisasi Tingkat Kegagalan Perisaian dengan Melakukan Konfigurasi Kawat Tanah dan Kawat Fasa yang dipasang pada Menara Penyangga

Pada dasarnya untuk meminimalisasi tingkat kegagalan perisaian saluran transmisi terhadap gangguan petir dilakukan dengan konfigurasi kawat tanah dan kawat fasa yang dipasang pada menara transmisi. Dalam penelitian ini konfigurasi dilakukan dengan menggeser posisi kawat tanah dan kawat fasa secara bergantian, hingga diperoleh tingkat kegagalan perisaian sempurna ($N_{SF} \approx 0$). Hasilnya disajikan dalam bentuk Tabel 4.5, Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.5

Nilai Nsf Minimum Perubahan pada Konfigurasi Kawat Tanah dan Kawat Fasa R

No	Y _G (m)	Y _f (m)	X _G (m)	X _f (m)	X _{GE} (m)	αE (°)	X _s (m)	N _{SF}	
								Kediri	Paiton
0	22,770000	18,503000	7,87500	12,89500	-2,057	25,735	-0.116	-0.011	-0.009
1	23,769290	18,503000	7,87500	12,89500	-2,4764	25,1843	0,000	0,000	0,000
2	21,864260	18,503000	7,87500	12,89500	-1,6568	26,2385	0,000	0,000	0,000
3	22,770000	18,503000	8,82755	12,89500	-2,0568	25,7352	0,000	0,000	0,000
4	22,770000	18,503000	6,52228	12,89500	-2,0568	25,7352	0,000	0,000	0,000
5	22,770000	19,573790	7,87500	12,89500	-1,4860	24,9347	0,000	0,000	0,000
6	22,770000	17,197210	7,87500	12,89500	-2,8061	26,7267	0,000	0,000	0,000
7	22,770000	18,503000	7,87500	12,897671	-2,0568	25,7352	0,000	0,000	0,000
8	22,770000	18,503000	7,87500	11,90549	-2,0568	25,7352	0,000	0,000	0,000
9	22,770000	19,503000	9,64373	12,89500	-1,5225	24,9873	0,000	0,000	0,000
10	22,770000	17,501860	9,87500	12,89500	-2,6259	26,4938	0,000	0,000	0,000
11	22,770000	19,503000	7,78101	12,89500	-1,5225	24,9873	0,000	0,000	0,000
12	22,770000	17,503000	7,670542	12,89500	-2,6252	26,4929	0,000	0,000	0,000
13	23,770000	19,329163	7,87500	12,89500	-2,0297	24,5626	0,000	0,000	0,000
14	23,770000	17,466950	7,87500	12,89500	-3,0705	25,9727	0,000	0,000	0,000
15	21,770000	17,320698	7,87500	12,89500	-2,2851	27,1839	0,000	0,000	0,000
16	21,770000	15,935370	7,87500	12,89500	-3,1349	28,2491	0,000	0,000	0,000
17	23,770000	18,503000	7,87500	14,07476	-2,4767	25,1839	0,000	0,000	0,000
18	23,770000	18,503000	7,87500	11,89395	-2,4767	25,1839	0,000	0,000	0,000
19	22,000000	18,503000	7,87500	13,09773	-1,7179	26,1628	0,000	0,000	0,000
20	21,886760	18,503000	7,87500	11,89500	-1,6669	26,2260	0,000	0,000	0,000
21	22,770000	18,503000	8,87500	13,89767	-2,0568	25,7352	0,000	0,000	0,000
22	22,770000	18,503000	8,87500	12,13090	-2,0568	25,7352	0,000	0,000	0,000
23	22,770000	18,503000	7,58470	13,89500	-2,0568	25,7352	0,000	0,000	0,000
24	22,770000	18,503000	6,87500	11,89767	-2,0568	25,7352	0,000	0,000	0,000

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.6

Nilai Nsf Minimum Perubahan pada Konfigurasi Kawat Tanah dan Kawat Fasa S

No	Y _G (m)	Y _f (m)	X _G (m)	X _f (m)	X _{GE} (m)	αE (°)	X _s (m)	N _{SF}	
								Kediri	Paiton
0	22,770000	14,235000	7,87500	12,895000	-4,741	29,0500	-5,600	0,029	0,024
1	24,63760	14,235000	7,87500	12,89500	-5,5440	28,0549	0,000	0,000	0,000
2	22,25502	14,235000	7,87500	12,89500	-4,5056	29,3271	0,000	0,000	0,000
3	22,770000	14,235000	8,776250	12,89500	-4,7408	29,0500	0,000	0,000	0,000
4	22,770000	14,235000	7,847955	12,89500	-4,7408	29,0500	0,000	0,000	0,000
5	22,770000	15,062150	7,87500	12,89500	-4,1658	28,3897	0,000	0,000	0,000
6	22,770000	12,721030	7,87500	12,89500	-5,8689	30,2862	0,000	0,000	0,000
7	22,770000	14,235000	7,87500	12,922045	-4,7408	29,0500	0,000	0,000	0,000
8	22,770000	14,235000	7,87500	11,993750	-4,7408	29,0500	0,000	0,000	0,000
9	22,770000	14,592290	9,289220	12,89500	-4,4890	28,7636	0,000	0,000	0,000
10	22,770000	13,235000	8,547360	12,89500	-5,4745	29,8623	0,000	0,000	0,000
11	22,770000	15,235000	7,947137	12,89500	-4,0492	28,2529	0,000	0,000	0,000
12	22,770000	13,235000	6,921690	12,89500	-5,4745	29,8623	0,000	0,000	0,000
13	23,770000	14,929191	7,87500	12,89500	-4,6923	27,9574	0,000	0,000	0,000
14	23,770000	13,319440	7,87500	12,89500	-5,8556	29,2627	0,000	0,000	0,000
15	21,770000	14,855247	7,87500	12,89500	-3,8481	29,0959	0,000	0,000	0,000
16	21,770000	13,426520	7,87500	12,89500	-4,8640	30,2409	0,000	0,000	0,000
17	23,770000	14,235000	7,87500	13,843275	-5,1804	28,5154	0,000	0,000	0,000
18	23,770000	14,235000	7,87500	12,183045	-5,1804	28,5154	0,000	0,000	0,000
19	21,770000	14,235000	7,87500	13,831555	-4,2786	29,5892	0,000	0,000	0,000
20	21,770000	14,235000	7,87500	11,511180	-4,2786	29,5892	0,000	0,000	0,000
21	22,770000	14,235000	8,875000	13,922045	-4,7408	29,0500	0,000	0,000	0,000
22	22,770000	14,235000	8,876375	11,895000	-4,7408	29,0500	0,000	0,000	0,000
23	22,770000	14,235000	6,875000	13,622075	-4,7408	29,0500	0,000	0,000	0,000
24	22,770000	14,235000	6,875000	12,217345	-4,7408	29,0500	0,000	0,000	0,000

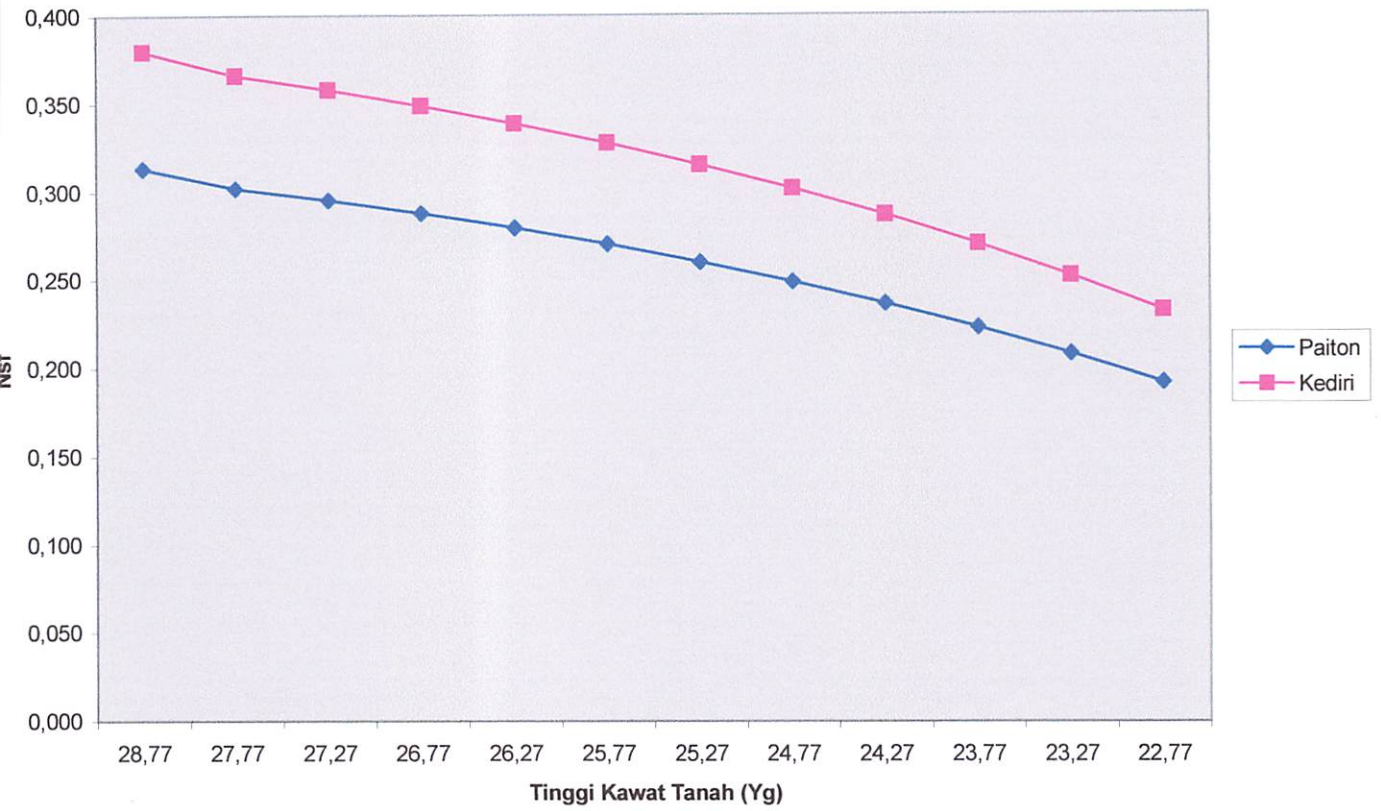
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.7

Nilai Nsf Minimum Perubahan pada Konfigurasi Kawat Tanah dan Kawat Fasa T

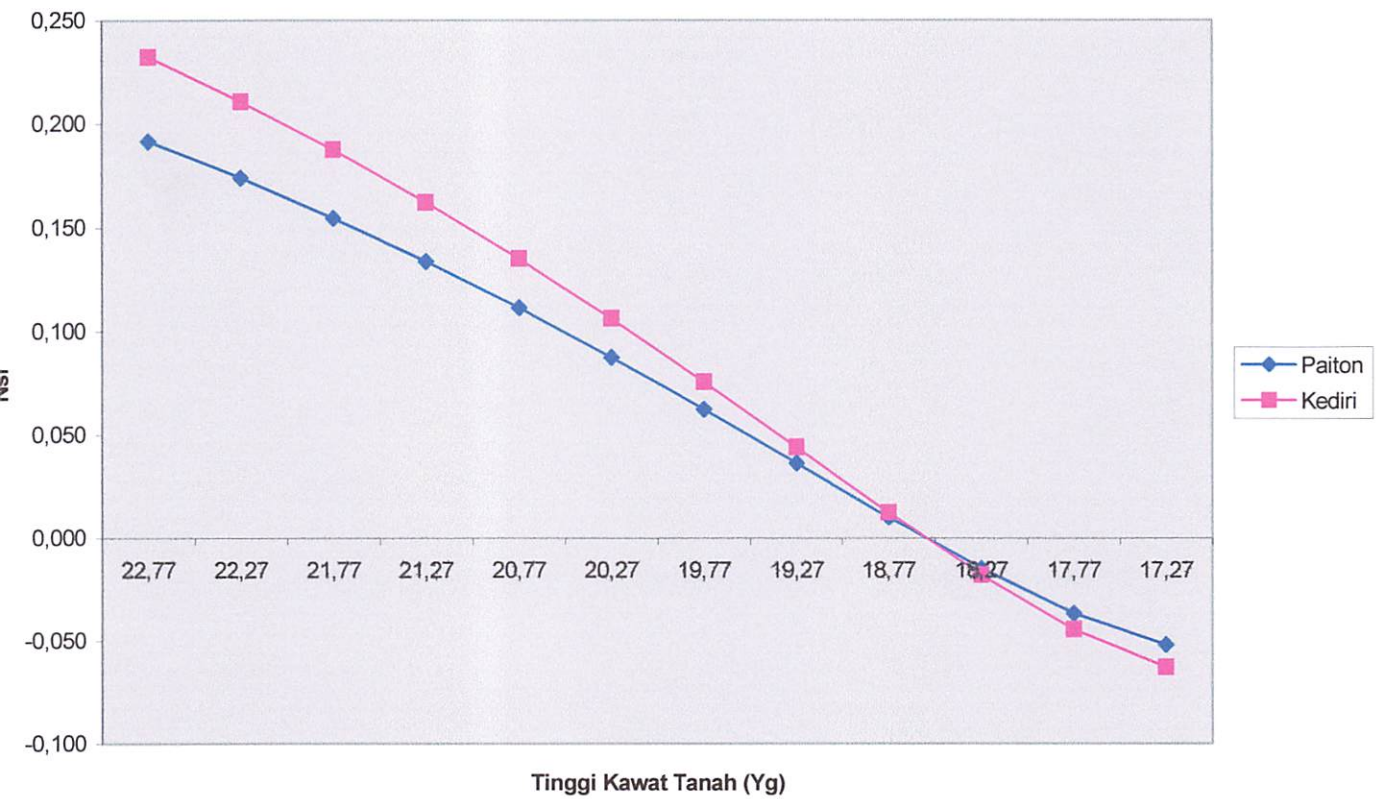
No	Y _G (m)	Y _f (m)	X _G (m)	X _f (m)	X _{GE} (m)	αE (°)	X _S (m)	N _{sf}	
								Kediri	Paiton
0	22,770000	9,968000	7,87500	12,89500	-8,202	32,647	-58,185	2,451	2,022
1	21,011531	9,968000	7,87500	12,89500	-7,3253	33,5569	0,000	0,000	0,000
2	23,44436	9,968000	7,87500	12,89500	-8,5199	32,3016	0,000	0,000	0,000
3	22,770000	9,968000	7,07567	12,89500	-8,2020	32,6468	0,000	0,000	0,000
4	22,770000	9,968000	8,126205	12,89500	-8,2020	32,6468	0,000	0,000	0,000
5	22,770000	8,879640	7,87500	12,89500	-9,2399	33,6319	0,000	0,000	0,000
6	22,770000	10,925706	7,87500	12,89500	-7,3456	31,8065	0,000	0,000	0,000
7	22,770000	9,968000	7,87500	14,317587	-8,2020	32,6468	0,000	0,000	0,000
8	22,770000	9,968000	7,87500	12,6438	-8,2020	32,6468	0,000	0,000	0,000
9	22,770000	7,910901	8,87500	12,89500	-10,2280	34,5408	0,000	0,000	0,000
10	22,770000	7,696131	6,87500	12,89500	-10,4560	34,7471	0,000	0,000	0,000
11	22,770000	10,968000	9,645497	12,89500	-7,3090	31,7699	0,000	0,000	0,000
12	22,770000	10,968000	6,630208	12,89500	-7,3090	31,7699	0,000	0,000	0,000
13	21,770000	9,968000	7,87500	12,271292	-7,7120	33,1626	0,000	0,000	0,000
14	21,770000	9,968000	7,87500	13,814335	-7,7120	33,1626	0,000	0,000	0,000
15	23,770000	9,968000	7,87500	14,148900	-8,6699	32,1355	0,000	0,000	0,000
16	23,770000	9,968000	7,87500	12,402640	-8,6699	32,1355	0,000	0,000	0,000
17	21,770000	8,418170	7,87500	12,89500	-9,1988	34,5650	0,000	0,000	0,000
18	21,770000	10,386487	7,87500	12,89500	-7,3349	32,7954	0,000	0,000	0,000
19	23,770000	11,7211	7,87500	12,89500	-7,1265	30,6028	0,000	0,000	0,000
20	23,770000	9,326100	7,87500	12,89500	-9,2788	32,7167	0,000	0,000	0,000
21	22,770000	9,968000	6,87500	11,643798	-8,2020	32,6468	0,000	0,000	0,000
22	22,770000	9,968000	6,87500	13,317587	-8,2020	32,6468	0,000	0,000	0,000
23	22,770000	9,968000	8,87500	12,101898	-8,2020	32,6468	0,000	0,000	0,000
24	22,770000	9,968000	8,87500	13,643798	-8,2020	32,6468	0,000	0,000	0,000

Sumber : Hasil Perhitungan



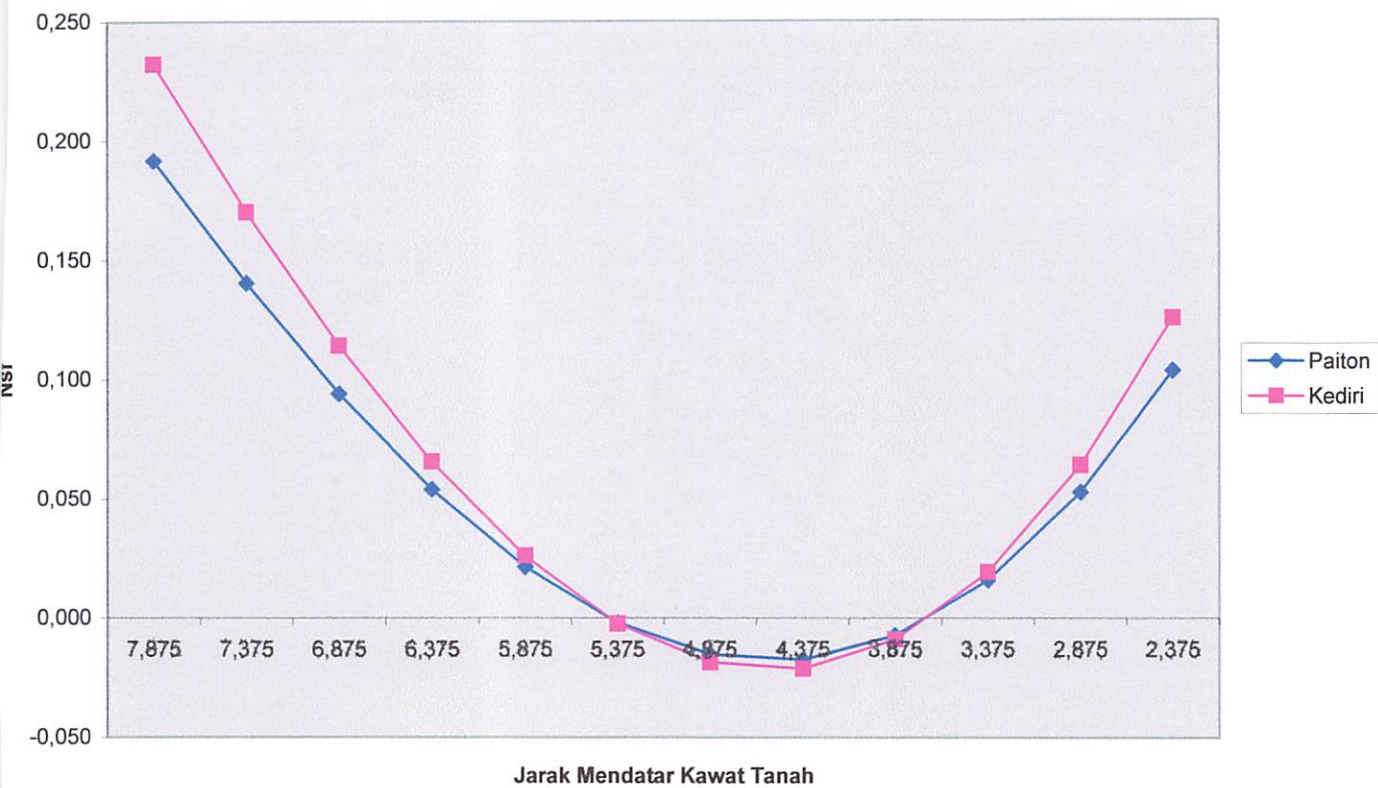
Grafik 4.1

Grafik Yg terhadap Nsf (Mengeser Kawat Tanah ke Atas)



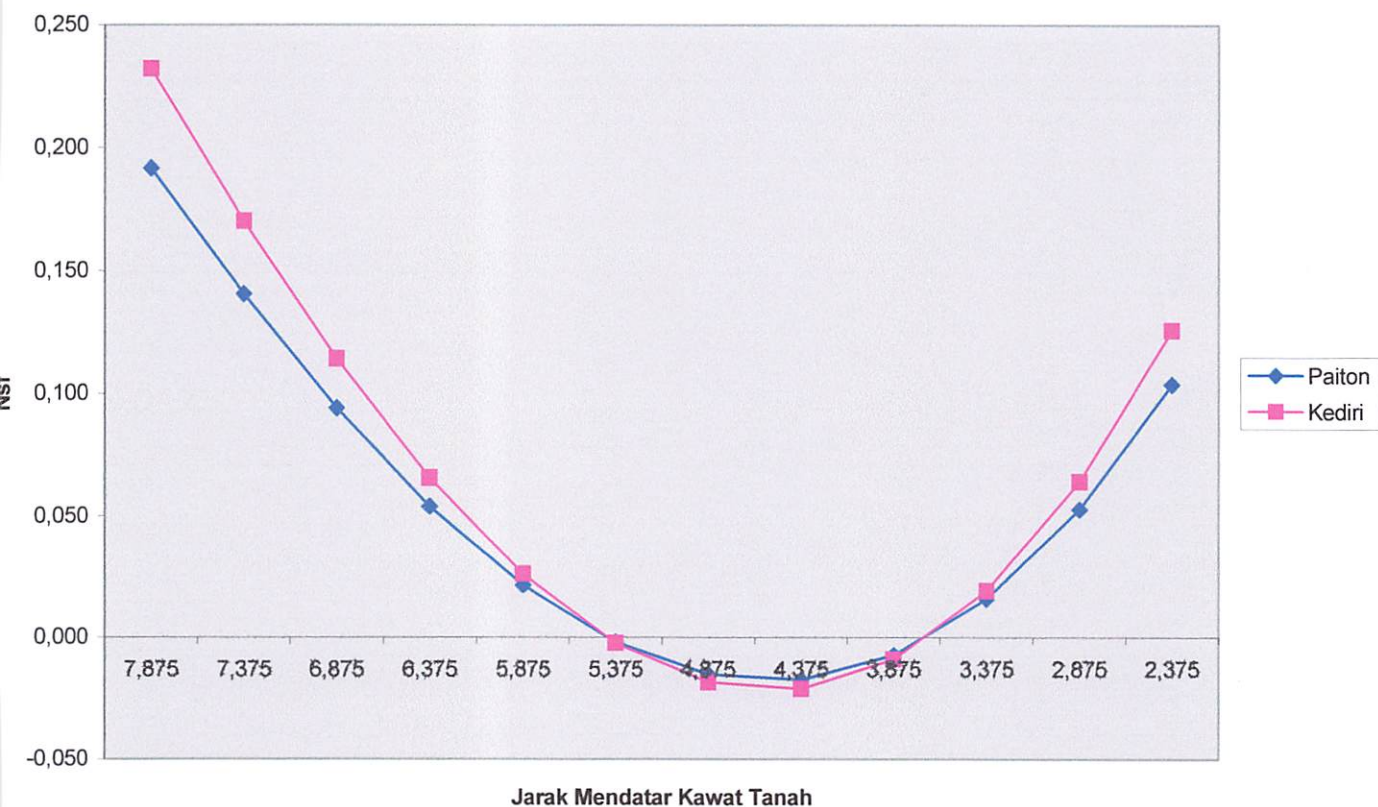
Grafik 4.2

Grafik Yg terhadap Nsf (Mengeser Kawat Tanah ke Bawah)



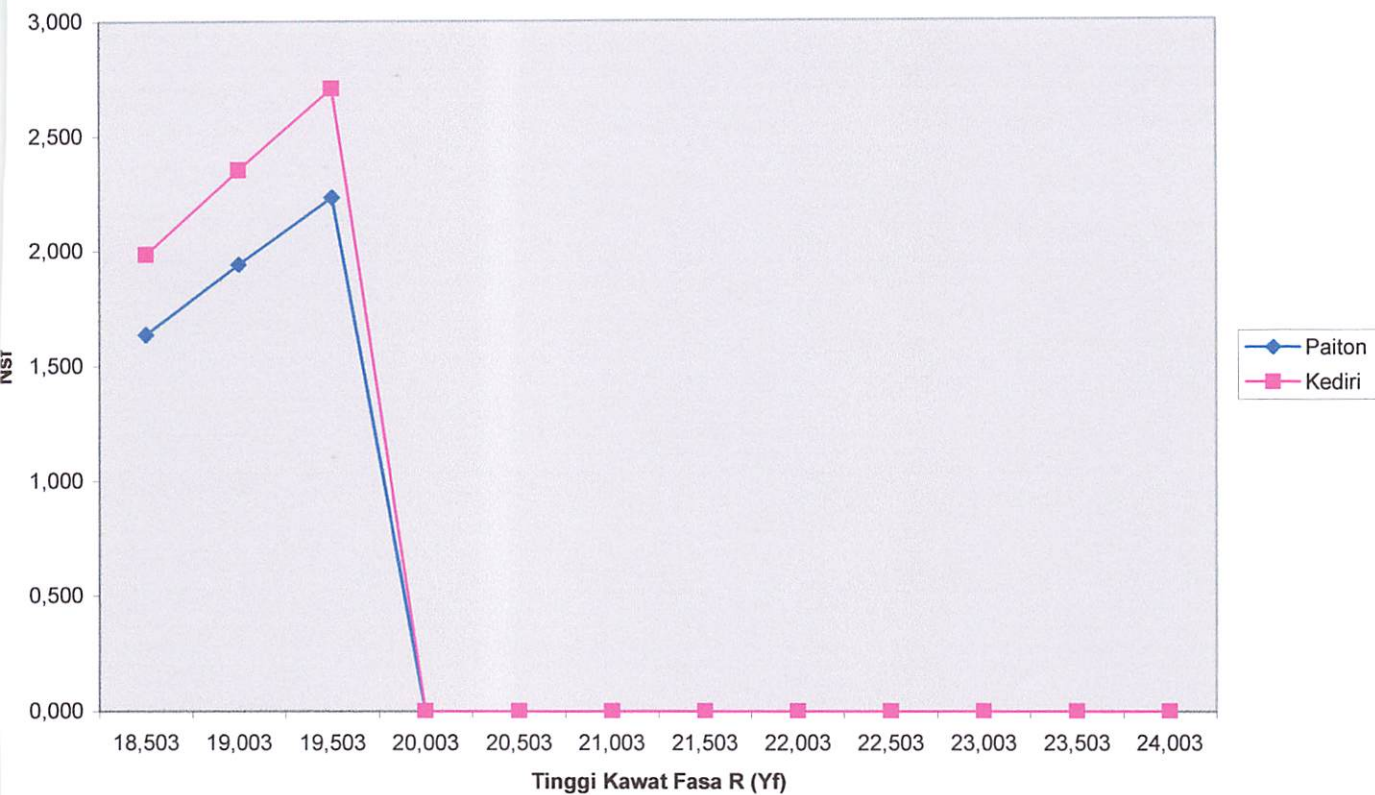
Grafik 4.3

Grafik Xg terhadap Nsf (Menggeser Kawat Tanah ke Luar)



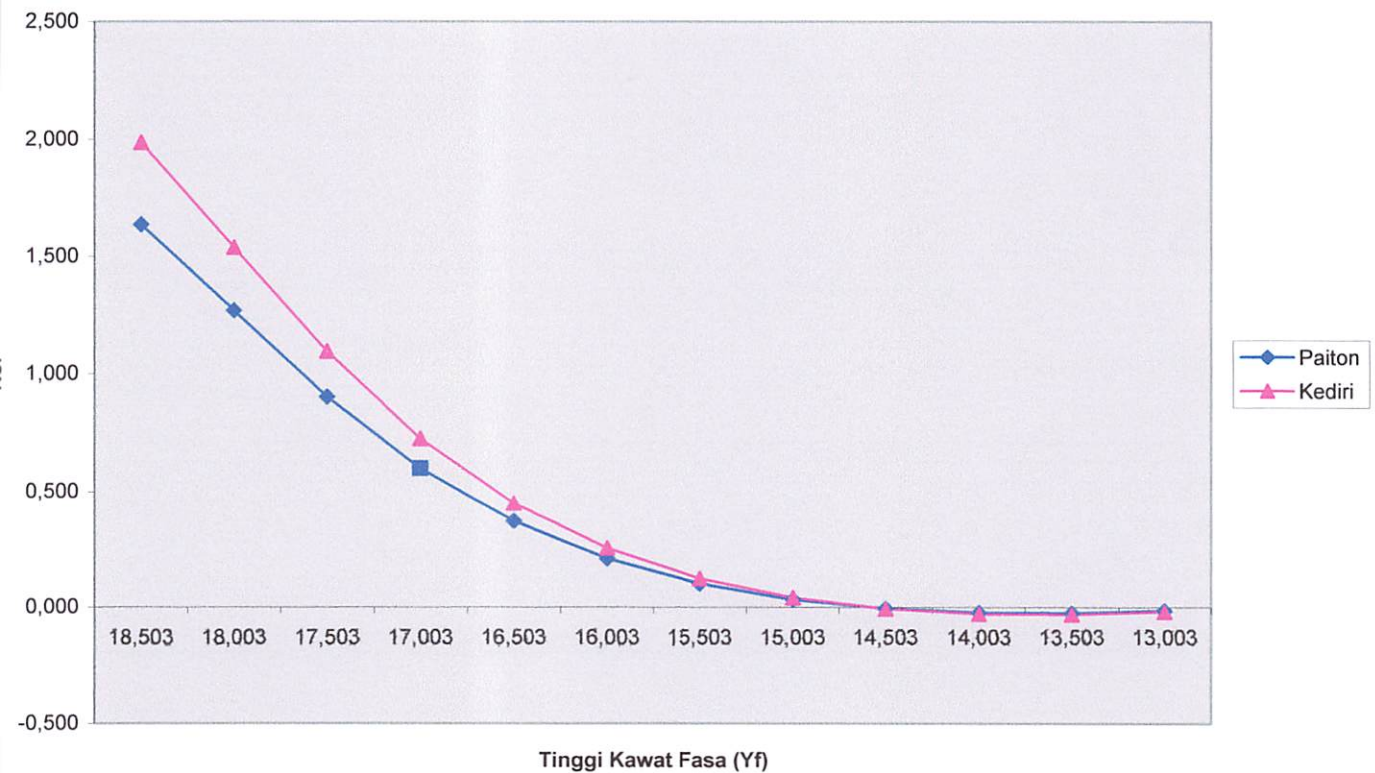
Grafik 4.4

Grafik Xg terhadap Nsf (Menggeser Kawat Tanah ke Dalam)



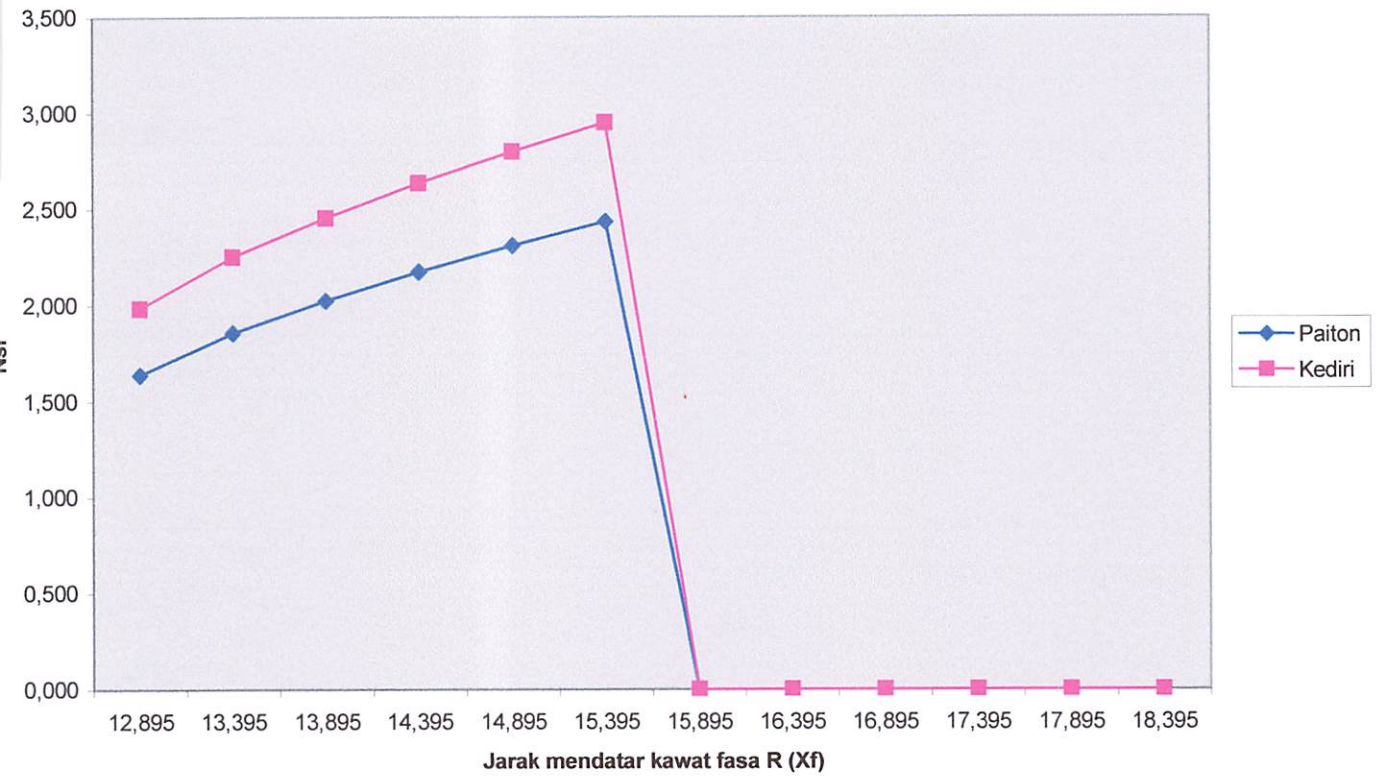
Grafik 4.5

Grafik Yf terhadap Nsf (Menggeser Kawat Fasa R ke Atas)



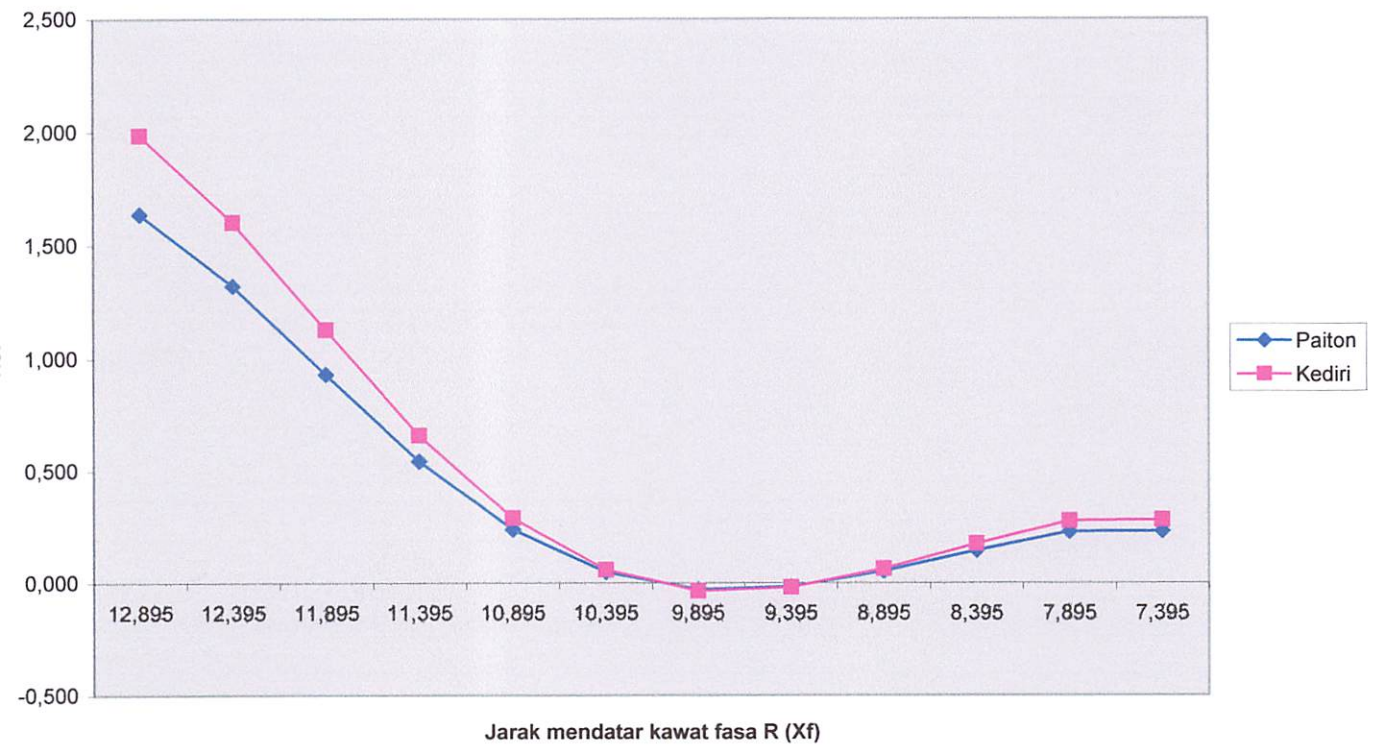
Grafik 4.6

Grafik Yf terhadap Nsf (Menggeser Kawat Fasa R ke Bawah)



Grafik 4.7

Grafik Xf terhadap Nsf (Menggeser Kawaf Fasa R ke Luar)



Grafik 4.8

Grafik Xf terhadap Nsf (Menggeser Kawaf Fasa R ke Dalam)

BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil analisa terhadap konfigurasi kawat tanah dan kawat fasa pada menara transmisi yang di pasang pada menara penyangga guna memperkecil tingkat perisaian terhadap gangguan petir pada saluran transmisi antara GI Paiton – GI Kediri Baru, diperoleh hasil :

1. Berdasarkan analisa pada pembahasan skripsi ini konfigurasi kawat tanah dan kawat fasa yang sesuai dapat mempekecil tingkat kegagalan perlindungan atau perisaian terhadap gangguan petir pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi, dimana besar jumlah kegagalan perisaian, dapat diminimalisasi dengan mengatur parameter-parameter yang terdapat pada konfigurasi menara, yaitu tinggi kawat konduktor (Y_{ft}) dan kawat tanah (Y_{gt}) pada menara, jarak konduktor ke pusat menara (X_f) dan jarak kawat tanah ke pusat menara (X_g) dengan menggeser posisi kawat tanah dan kawat fasa secara bergantian sehingga akan didapatkan perisaian yang sempurna/tingkat kegagalan perisaian ($N_{sf} \approx 0$).
2. Gangguan sambaran kilat terhadap saluran transmisi dipengaruhi oleh besarnya arus sambaran dan frekwensi terjadinya kilat (IKL). Kedua faktor tersebut merupakan fenomena alam yang sulit dipastikan kejadiannya.
3. Besar jumlah kegagalan perisaian juga dipengaruhi parameter : panjang isolator (w_i), jari-jari konduktor (r), andongan kawat tanah (S_{agg}), dan andongan kawat fasa (S_{agf}).

4. Tingkat kegagalan perisaian terhadap gangguan petir pada saluran transmisi untuk daerah Kediri adalah :

a. Untuk fasa R sebesar 2,451 gangguan per 100 km per tahun atau
= 2,128 gangguan per 100 km per tahun.

b. Untuk fasa S sebesar 0,029 gangguan per 100 km per tahun atau
= 0,025 gangguan per 100 km per tahun.

c. Untuk fasa T sebesar 0,011 gangguan per 100 km per tahun atau
= 0,009 gangguan per 100 km per tahun.

3. Tingkat kegagalan perisaian terhadap petir pada saluran transmisi untuk daerah Paiton adalah :

a. Untuk fasa R sebesar 2,022 gangguan per 100 km per tahun atau
= 2,497 gangguan per 100 km per tahun.

b. Untuk fasa S sebesar 0,024 gangguan per 100 km per tahun atau
= 0,029 gangguan per 100 km per tahun.

c. Untuk fasa T sebesar 0,009 gangguan per 100 km per tahun atau
= 0,011 gangguan per 100 km per tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. G. 1975. *Transmission Line Reference Book 345 kV and Above*. Palo Alto, Calif.:Electric Power Research Institute.
- Anderson, J. G., et al. 1985. *A Simplified Method for Estimating Lightning Performance of Transmission Lines*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-104, No. 4 April 1985.
- Anderson, J. G. 1982. *Transmission Line Reference Book, 345 kV and Above*. Electric Power Research Institute, 2nd. ed., Chapter 12.
- Hutauruk, T.S. 1985. *Transmisi Daya Listrik*. Erlangga, Jakarta
- Hutauruk, T.S. 1987. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Erlangga, Jakarta.
- Hutauruk, T.S. 1991. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Erlangga, Jakarta.
- K.T. Sirait, R. Zoro. 1986. *Perlindungan terhadap Tegangan Lebih pada Sistem Tenaga Listrik*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- M.S. Naidu, V Kamaraju. 1985. *High Voltage Engineering*. McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Setiyo Saksomo. Tanpa tahun. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Universitas Brawijaya Malang, Malang.
- Syakur, A., dkk. 1998. *Pengaruh Konfigurasi Menara Transmisi Terhadap Kegagalan Perisaian*. Seminar Nasional dan *Workshop* - Teknik Tegangan Tinggi. Bandung.
- PT. PLN (Persero). 1997. *Operasi dan Pemeliharaan Distribusi TM*. P.T. PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan, Jakarta.
- Whitehead, E.R. 1974. *CIGRE Survey of the Lightning Performance of Ekstra-High-Voltage Transmission Lines*. Electra, No. 33, pp 63-89.

LAMPIRAN

A

DATA THUNDER STROM (TS) & LIGHTNING DAERAH PATTON TAHUN 2003

JANUARI

TGL	TS	LIGHTNING
1		1
2		1
3	1	1
4	1	1
5		1
6		1
7		1
8		1
9		1
10		1
11		
12		1
13		
14		
15		1
16		1
17		1
18		1
19		
20		
21	1	1
22	1	1
23		1
24		
25	1	1
26		
27		
28		1
29		1
30		1
31		1
JUMLAH	5	23

FEBRUARI

TGL	TS	LIGHTNING
1		1
2		1
3		1
4		1
5		1
6		1
7		1
8		1
9		1
10		1
11		
12		
13		1
14		1
15		1
16		1
17		1
18		1
19		1
20		1
21		1
22		1
23		1
24		1
25		1
26		1
27		1
28		
29		
JUMLAH	0	24

MARET

TGL	TS	LIGHTNING
1		1
2		1
3		1
4		
5		1
6		1
7		1
8		
9		
10		1
11		1
12		1
13		1
14		
15		1
16		1
17		
18		
19		
20		1
21		1
22		1
23		
24		
25		1
26		1
27		1
28		
29		
30		1
31		
JUMLAH	0	16

APRIL

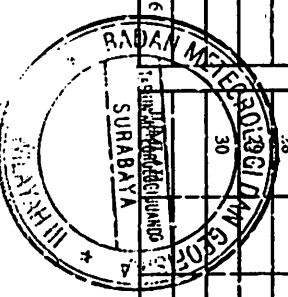
TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		1
4		
5		
6		
7		
8		1
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		1
16		
17		1
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		1
26		1
27		1
28		
29		
30		
JUMLAH	0	7

MEI

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		
5		1
6		1
7		1
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		1
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		1
24		1
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
JUMLAH		6

JUNI

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		1
10		
11		
12		
13		
14		1
15		1
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
JUMLAH		3



DATA THUNDER STROM (TS) & LIGHTNING DAERAH PAITON TAHUN 2003

JULI

AGUSTUS

SEPTEMBER

OKTOBER

NOVEMBER

DESEMBER

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
JUMLAH	0	0

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
JUMLAH	0	0

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
JUMLAH	0	0

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		1
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		1
28		1
29		
30		
31		
JUMLAH	0	3

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7	1	
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		1
18		
19		
20		
21	1	1
22		1
23		1
24		
25		
26		
27		1
28		
29		1
30		1
31		
JUMLAH	2	

TGL	TS	LIGHTNING
1		1
2		1
3		1
4		1
5		1
6		
7		
8		1
9		1
10		1
11		
12		
13		
14		
15		1
16		1
17		1
18		
19		1
20		1
21		1
22		
23		
24		
25		1
26		
27		1
28		1
29		
30		1
31		
JUMLAH		18



DATA THUNDER STROM (TS) & LIGHTNING DAERAH KEDIRI TAHUN 2003

JANUARI

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		1
3		1
4		1
5		1
6		1
7		
8		
9		
10		1
11		1
12		1
13		1
14		1
15		1
16		1
17		1
18		1
19		
20		
21		1
22		1
23		1
24		1
25		1
26		
27		
28		1
29		1
30		1
31		1
JUMLAH	6	23

FEBRUARI

TGL	TS	LIGHTNING
1		1
2		1
3		1
4		1
5		1
6		1
7		1
8		1
9		1
10		1
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		1
18		1
19		1
20		1
21	1	1
22	1	1
23		1
24		1
25		1
26		1
27		1
28		1
29		
30		
31		
JUMLAH	2	25

MARET

TGL	TS	LIGHTNING
1		1
2		1
3		1
4		
5		1
6		1
7		1
8		
9		
10		1
11	1	1
12	1	1
13		1
14		
15		1
16		1
17		
18		
19		
20		
21		
22		1
23		
24		
25		
26		
27	1	
28		
29		
30		
31		
JUMLAH	3	13

APRIL

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		
5		1
6		1
7		1
8		1
9		1
10		1
11		
12		
13		
14		1
15		1
16		
17		1
18		1
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
JUMLAH	0	10

MEI

TGL	TS	LIGHTNING
1		1
2		1
3		
4		
5		1
6		1
7		1
8		1
9		1
10		
11	1	1
12	1	1
13		1
14		1
15		
16		
17		
18		
19		
20	1	
21		
22		
23		1
24		1
25		
26		
27		
28	1	
29		
30		
31		
JUMLAH	4	15

JUNI

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		1
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		1
21		1
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
JUMLAH		5



DATA THUNDER STROM (TS) & LIGHTNING DAERAH KEDIRI TAHUN 2003

JULI

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
JUMLAH	0	0

AGUSTUS

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		1
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		1
18		1
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
JUMLAH	0	3

SEPTEMBER

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		1
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		1
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
JUMLAH	0	2

OKTOBER

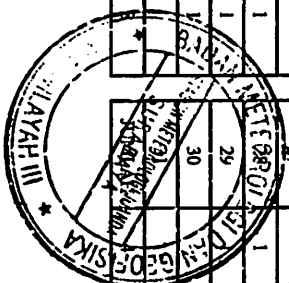
TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		1
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		1
16		
17		
18		
19		
20		1
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		1
29		
30		
31		
JUMLAH	0	4

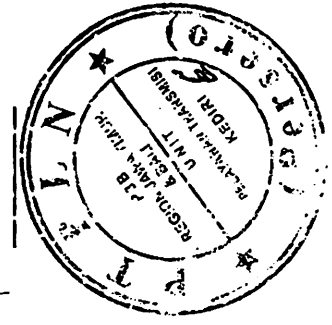
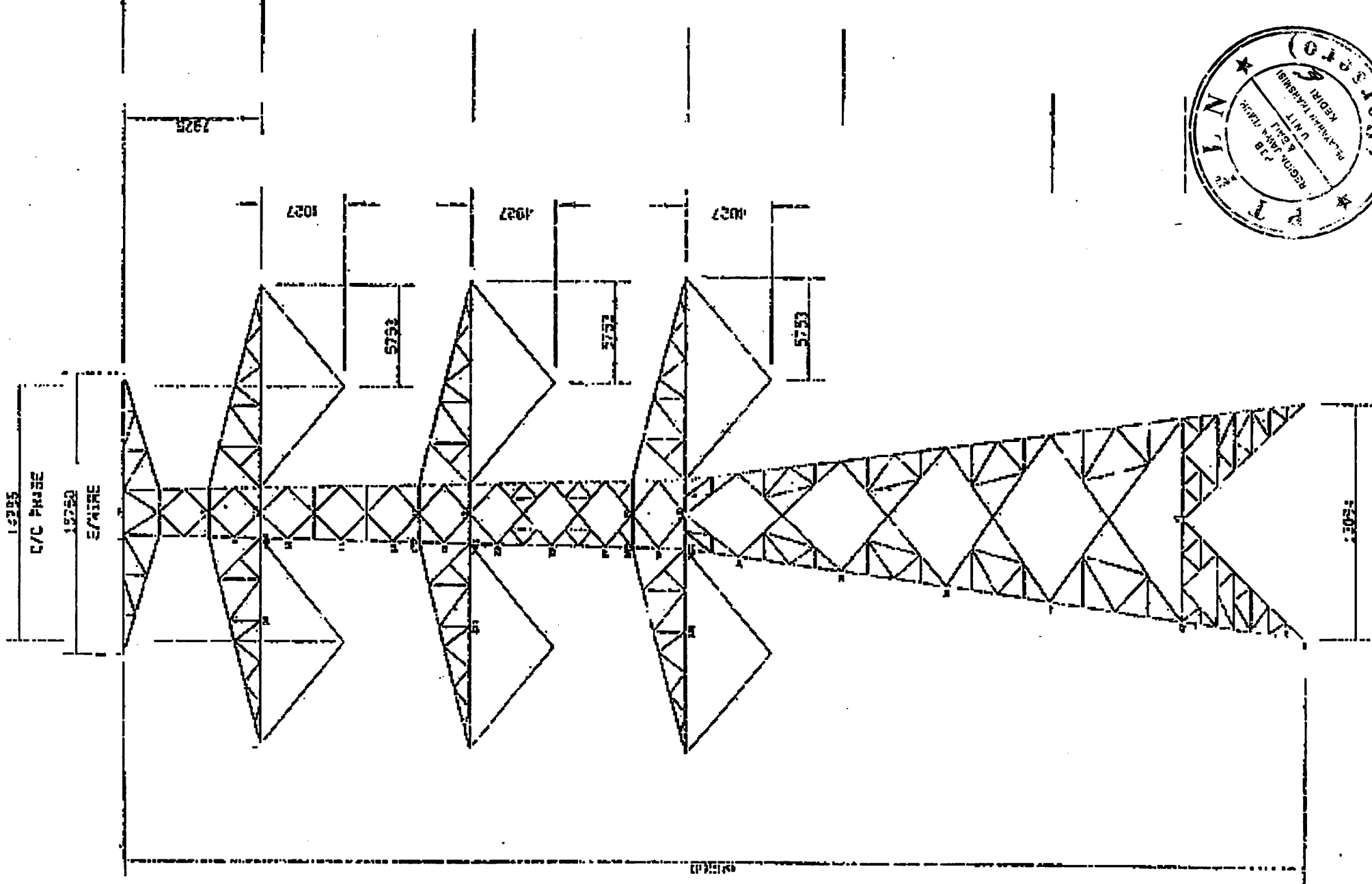
NOVEMBER

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		1
14		
15		
16		
17		1
18		
19		
20		
21		1
22		1
23		1
24		1
25		1
26		1
27		
28		1
29		1
30		
31		
JUMLAH	6	13

DESEMBER

TGL	TS	LIGHTNING
1		
2		
3		
4		1
5		1
6		1
7		
8		
9		1
10		1
11		
12		
13		
14		1
15		1
16		1
17		1
18		1
19		1
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		1
27		1
28		
29		
30		
31		
JUMLAH	6	13





**Data Teknis Konstruksi Menara Penyangga
SUTET 500 kV Paiton – Kediri Baru**

Kawat Tanah

- Material : GSW
- : OPGW
- Jumlah Kawat Tanah : 2 buah
- Jari-jari Kawat Tanah GSW : 0.0025 m
- Jari-jari Kawat Tanah OPGW : 0.0032 m

Kawat Fasa

- Material : ACSR Gannet
- Jumlah Kawat tiap Fasa : 4 buah
- Diameter Kawat Fasa : 0,02576 m
- Luas Penampang Kawat Fasa : 392,84 mm²
- Jarak Sub Konduktor : 0,45 m

Isolator

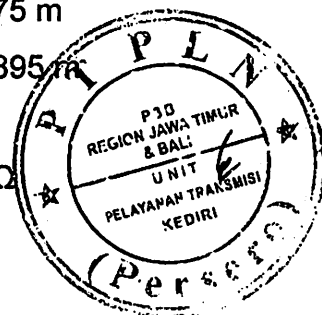
- Material : Porselin
- Type : Sediver
- Panjang Rentengan : 4,827 m

Menara

- Tinggi Menara rata-rata : 68,260 m
- Tinggi Kawat Tanah : 68,260 m
- Jarak Antar Kedua Kawat Tanah : 15,750 m
- Jarak Gawang rata-rata : 450 m
- Tegangan Sistem : 500 kV
- Jari-jari Ekvivalen Menara : 6,547 m
- Jarak Kawat Tanah ke Pusat Menara : 7,875 m
- Jarak Kawat Fasa ke Pusat Menara : 12,895 m

Tahanan Kaki Menara (R)

: 10 Ω



” BATAS WILAYAH KERJA SUTET 500 KV ”

I. WILAYAH KERJA UPT KEDIRI :

1. SUTET 500 kV Kediri - Pedan (T. 1 s/d T. 324 Mantingan - Ngawi) Nomor Final.

Jumlah Tower = 324 Set
 Panjang rute = 139,954 kMr
 Panjang sirkit = 279,907 kMs

2. SUTET 500 kV Paiton - Kediri (T. 287 s/d T. 478 Nomor Construction)

Jumlah Tower = 207 Set
 Panjang rute = 86,823 kMr
 Panjang sirkit = 173,647 kMs

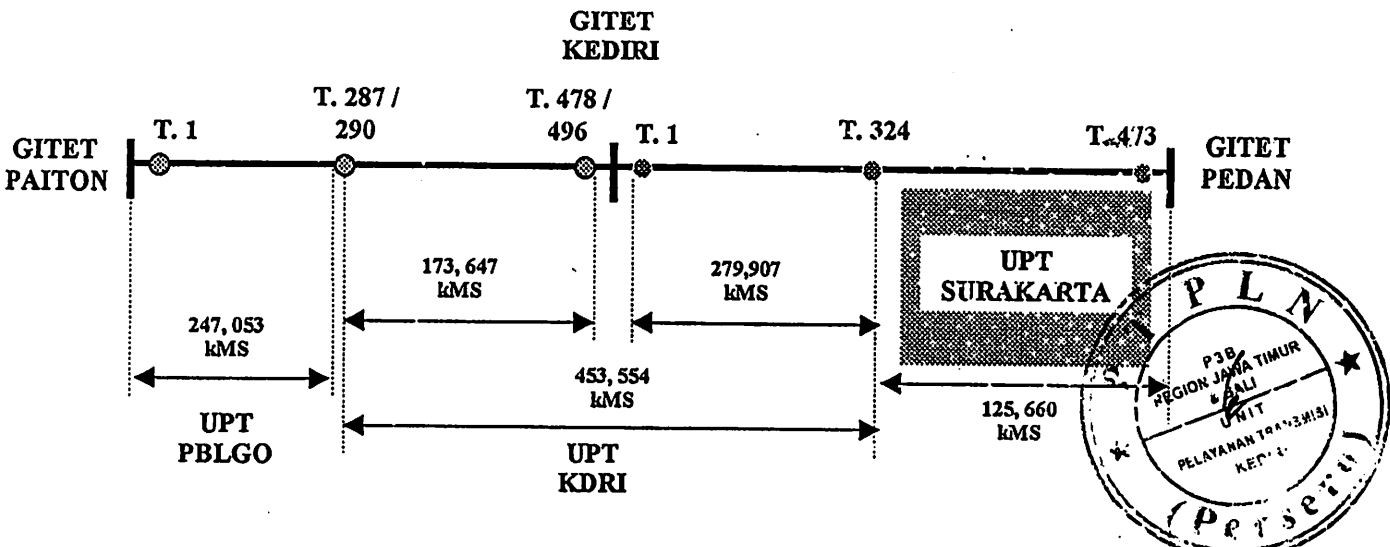
II. WILAYAH KERJA UPT PROBOLINGGO :

1. SUTET 500 kV Paiton - Kediri (T. 1 s/d T. 287 Nomor Construction)

Jumlah Tower = 289 Set
 Panjang rute = 123,527 kMr
 Panjang sirkit = 247,053 kMs

➔ **SUTET 500 KV PAITON - KEDIRI (T. 1 s/d T. 478 Nomor Construction)**

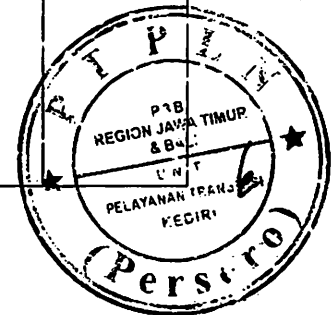
Jumlah Tower = 496 Set
 Panjang Rute = 210,350 kMr
 Panjang sirkit = 420,700 kMs



PARTICULARS OF DOUBLE CIRCUIT TOWERS

TYPE TOWER	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG
Type of insulator sets	Vee Suspension	Tension	Tension	Tension	Tension	Tension	Tension
Maximum angle of deviation	5	10	30	60	90	Terminal (0° – 45°)	Transposition
Standard span length GANNET conductor	450	450	450	450	450	450	450
Minimum ground clearance of line conductor at 75 °C flat ground	18	18	18	18	18	18	18
Sag of line conductor in standard span length at 75°C	m						
Minimum distance of line conductor below crossarm	m						
Height above ground of line conductor below crossarm	m						
Minimum height of earth conductor above	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6
Line conductor at tower	m						
Overall tower height	m						
Minimum horizontal spacing between adjacent conductor	m						
Horizontal distance, from tower centre line, of outer insulator attachment	m						
Horizontal distance, from tower centre line, of earth conductor	m						
Longitudinal dimensions of tower centre line (transverse x longitudinal)							
Maximum for standard height towers	m	11 x 11	15 x 15	15 x 15	20 x 20	20 x 20	21 x 21
Actual for standard height towers	m						
Mass of complete tower above ground	kg						
Total transverse overturning moment at ground							
Line of standard height tower load case 1	kNm						
Mass of extended towers above ground line							
3 metre reduced tower	kg						
3 metre reduced tower	kg						
6 metre reduced tower	kg						
9 metre reduced tower	kg						
12 metre reduced tower	kg						
15 metre reduced tower	kg						

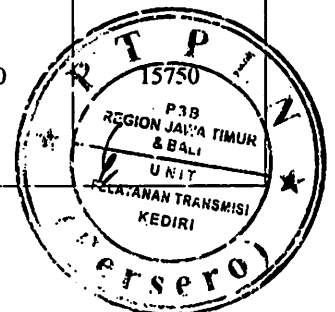
Sumber : PT. PLN (Persero), 1997 : Volume 1



INSULATOR AND FITTING FOR LIGHT DUTY TENSION SETS

Once Schedule I, item no.	Light Duty	4.16/4.18	4.17/4.19
	Tension Set reserved/upright Normal Units (more 10 km from sea)	Light Duty Tension Set reserved/upright Medium pollutan Units (3 - 10 km from sea)	Light Duty Tension Set Heavy pollutan Units (less 3 km from sea)
1	8	9	10
<u>INSULATOR UNITS</u>			
Material	Porcelain/ toughened glass	Porcelain/ toughened glass	Porcelain/ toughened glass
IEC Designation	U 160 BS	U 160 BL	U 160 BLP
Insulator type (see drawing)	A	B	C
Minimum failing load	kN *160	*160	*160
Outside diameter	mm *280 (max)	*280 (max)	*280 (max)
Distance between centres of units	mm 146	170	170
Insulator pin diameter	mm 20	20	20
Mass of unit	kg		
Minimum dry lightning impulse withstand voltage	kV 110	110	140
Minimum wet power frequency withstand voltage	kV 40	45	50
Minimum puncture voltage in oil	kV 110	110	130
Minimum creepage distance	mm 315	340	525
<u>INSULATOR SETS COMPLETE</u>			
Number of string in paralel	1	1	1
Number of string vee with 100°			
Included angle	-	-	-
Maximum load per insulator string	kN 30	30	30
Minimum failing load of fittings :			
Common to each string	kN 63	63	63
Common to quadruple conductor	kN 63	63	63
Minimum failing load. Complete set	kN 63	63	63
Number of units in each strng	kN 30	30	30
Overall length of set including clamp and all fittings, ca	mm		
Mass of set, complete with all fittings and arcing horns at both end, ca	kg		
Mass of counter weights			
Overall length of leakage path per string			
Minimum	mm 9450	11100	
Actual	mm		

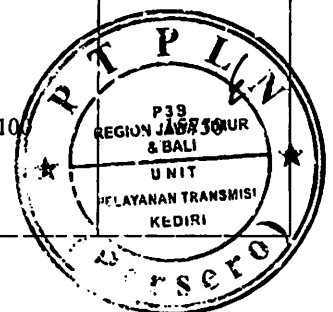
Sumber : PT.PLN (Persero), 1997, Volume 1



INSULATOR AND FITTING FOR JUMPER PILOT SUSPENSION SETS (Continued)

Once Schedule I, item no.	4.22a		4.22b		4.22c	
	Jumper Suspension Insulator Normal Units	Pilot Set	Jumper Suspension Insulator Medium pollutan Units	Pilot Set	Jumper Suspension Heavy pollutan Units	Pilot Set
	(more 10 km from sea)		(3 - 10 km from sea)		(less 3 km from sca)	
1	8		9		10	
<u>INSULATOR UNITS</u>						
Material	Porcelain/ toughened glass		Porcelain/ toughened glass		Porcelain/ toughened glass	
IEC Designation	U 160 BS		U 160 BL		U 160 BLP	
Insulator type (see drawing)	A		B		C	
Minimum failing load	kN	*160	*160		*160	
Outside diameter	mm	*280 (max)	*280 (max)		*280 (max)	
Distance between centres of units	mm	146	170		170	
Insulator pin diameter	mm	20	20		20	
Mass of unit	kg					
Minimum dry lightning impulse withstand voltage	kV	110	110		140	
Minimum wet power frequency withstand voltage	kV	40	45		50	
Minimum puncture voltage in oil	kV	110	110		130	
Minimum creepage distance	mm	315	340		525	
<u>INSULATOR SETS COMPLETE</u>						
Number of string in pararel		1	1		1	
Number of string vee with 100°						
Included angle		-	-		-	
Maximum load per insulator string	kN	30	30		30	
Minimum failing load of fittings :						
Common to each string	kN	63	63		63	
Common to quadruple conductor	kN	63	63		63	
Minimum failing load. Complete set	kN	63	63		63	
Number of units in each strng	kN	30	30		30	
Overall lenght of set including clamp and all fittings, ca	mm					
Mass of set, complete with all fitngs and arcing horns at both end, ca	kg					
Mass of counter weights						
Overall lenght of leakage path per string						
Minimum	mm	9450	11100			
Actual	mm					

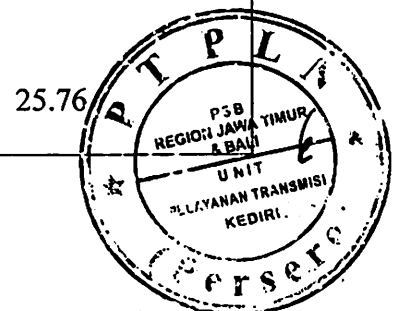
Sumber : PT.PLN (Persero), 1997, Volume 1



LINE CONDUCTOR

		GANNET (ACSR/AS)
COMPLETE LINE CONDCTOR		
Actual Area (total) per Conductor	mm ²	392.84
Number of conductor per Phase		4
Maximum tension per phase For purposes of tower Design and application :-		
Suspension towers	Newton	190 400
Tension towers	Newton	285 600
Horizontal and vertical Distance between conductors Centre of one phase	mm	450
Number of spacers in a Standard span, per phase		
EACH SINGLE CONDUCTOR :-		
Code name		GANNET
Appropriate IEC recomandation Alu-clad-wire according		209 DIN 4520018
Material of conductor		ACSR/AS
Number and diameter of wires :-		
Alluminium	mm	26/4.07
Alluminium Clad Steel	mm	7/3.16
Min. Stress of steel at 1 per cent elongation	Newton/mm ²	1200
Maximum resistance of conductor (a.c) per 1000 m at 20°	ohm	
Overall diameter of Conductor		25.76

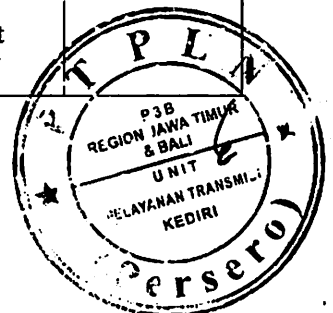
Sumber : PT.PLN (Persero), 1997, Volume 1



EARTH CONDUCTOR

ITEM	UNIT	SPECIFIED
<u>COMPLETE EARTH CONDUCTOR</u>		
Appropriate British standard No		183
Material of Conductor		Galvanized Steel
Number and Diameter of wires	mm	19/2.5
Overall diameter of conductor	mm	12.7
Minimum Breaking Load	kN	79.23
Mass of conductor per kilometre	kg	
Maximum tension of conductor for purpose of tower design, end application :		
Suspension towers	Newton	29000
Tension towers	Newton	43500
Earth wires of downleads	Newton	7500
Maximum uplift of each earth conductor on the tower for purpose of tower design	Newton	30000
Maximum tension of conductor in still air at 25° C	Newton	15300
Assumed equivalent modulus of elasticity of conductor	hbar	
Assumed equivalent coefficient of linear expansion of conductor	per°C	
Maximum length of conductor on drum	km	
Number of vibration dampers per span		
Spans up to 400 m		
Spans over 400 m		
Dimensions clamp mouth to vibration damper attachment		
First damper	mm	
Second damper when required	mm	
<u>INDIVIDUAL WIRES BEFORE STRANDING</u>		
Grade of steel in BS 183°		850
Elongation in 250 mm length on breaking	per cent	
Elastic limit as percentage of tensile strength	per cent	

Sumber : PT.PLN (Persero), 1997, Volume 1



EARTH CONDUCTOR

		AS 100 mm ²
COMPLETE EARTH CONDUCTOR		B 416 -81
Appropriate ASIM		B 416 -81
Material of Conductor		Aluminium Clad Steel
Number and Diameter of wires	mm	19/3.2
Overall diameter of conductor	mm	16
Mass of conductor per kilometre	kg	
Maximum tension of conductor for purpose of tower design, end application :		
Suspension towers	Newton	29 000
Tension towers	Newton	43 500
Earth wires of downleads	Newton	7 500
Maximum uplift of each earth conductor on the tower for purpose of tower design	Newton	30 000
Maximum tension of conductor in still air at 25° C	Newton	13 714
Assumed equivalent modulus of elasticity of conductor	hbar	
Assumed equivalent coefficient of linear expansion of conductor	per°C	
Maximum length of conductor on drum	km	
Number of vibration dampers per span		
Spans up to 400 m		
Spans over 400 m		
Dimensions clamp mouth to vibration damper attachment		
First damper	mm	
Second damper when required	mm	
INDIVIDUAL WIRES BEFORE STRANDING		1340
Grade of stell in BS 183°		
Elongation in 250 mm length on breaking	per cent	
Eolastic limit as percentage of tensile strength	per cent	

Sumber : PT.PLN (Persero), 1997, Volume 1

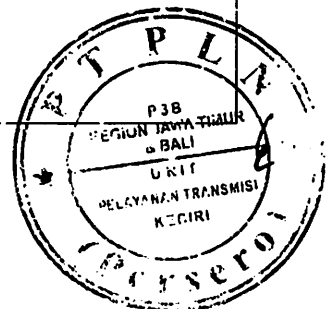


TABLE (1)

CONSTRUCTION AND PROPERTIES OF OPGW AS GROUND WIRE³⁾

ITEM		UNIT	MAIN PROPOSAL
Size designation		-	OPGW ACSR/AS 95/55
Construction	AS wire		1 + 5 : 3.20
	Steel tube wire	Nos:mm	1 : 3.20
	AL wire		12 : 3.20
Overall diameter		mm	16.0
Cross section area	AS wire		48.25
	AL wire	mm ²	96.51
	Total		144.76
Nominal weight		Kg/km	615
Modulus of elasticity		N/mm ²	95700
Coefficient of linier expansion		X 10 ⁻⁵ /°C	17.4
Ultimate tensile strength (Min)		N	82130
Maximum tension stress			213
Everyday stress		N/mm ²	88
Permanenttensile stress			397
Max. allowable temperature	Continous		80
	For one sec	°C	160
D.C. resistance at 20°C (Max)		Ohm/km	0.258
*Mean sub-span with spacers/damper		m	
*Number of Vibration damper per span:			
span up to 400 metres		pcs	
span over 400 metres		pcs	
*Fill in detail for selected damping system			

Sumber : PT.PLN (Persero), 1997, Volume 1

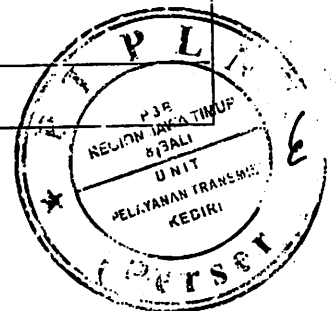


TABLE (2)

Contruction and properties of optical cable included inside OPGW^{*)}

Item		Unit	Main Proposal
Size designation		-	OPGW ACSR/AS 95/55
Optical cable diameter over steel tube		mm	3.2
Optical fiber type		-	Single mode (SM)
Number of optical fiber		-	8
Optical attenuation at wavelength 1.3 μm		dB/km	Max. 0.38
Fiber diameter	Mode field Cladding	μm	10 \pm 1 125 \pm 3
Max.allowable Temperature	Continuous For one sec.	$^{\circ}C$	80
Corsss-sectional view		-	160

Sumber : PT.PLN (Persero), 1997, Volume 1

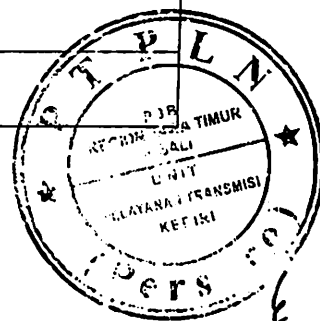
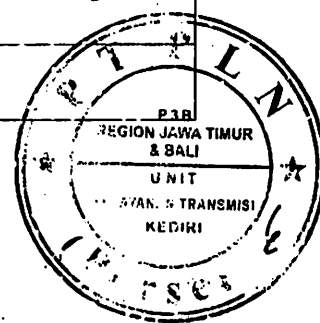


TABLE (3)

Componen wire

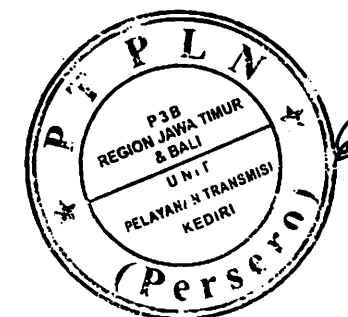
Item	Unit	Characteristic	
Size designation	-	OPGW ACSR/AS 95/55	
Type	-	As wire (central inner layer)	Al wire (outer layer)
Nominal diameter	mm	3.20	3.20
Min. Breaking strength	N/mm ²	1290	157
Max. D.C. resistance at 20°C	Ohm/km	10.22	3.41
Calculated cross section area	mm ²	8.04	8.04
Permissible variations in specified diameter	%	± 0.04	± 0.045
Minimum thickness of aluminium	mm	0.162	
Number of twist (Min)	Nos.	8	8
Stress at 1% elongation	N/mm ²		

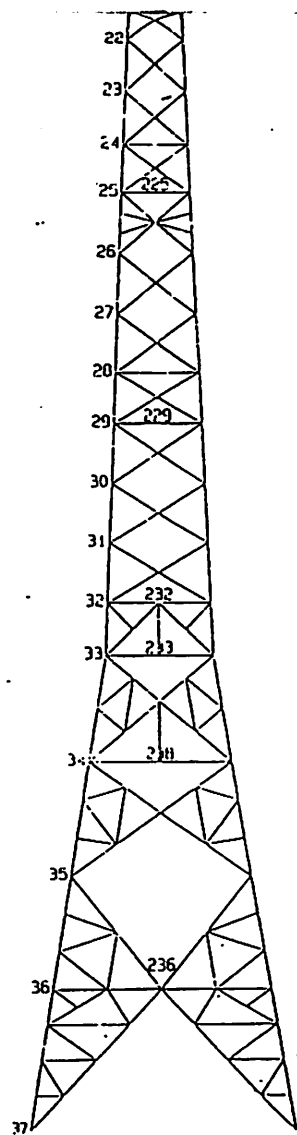
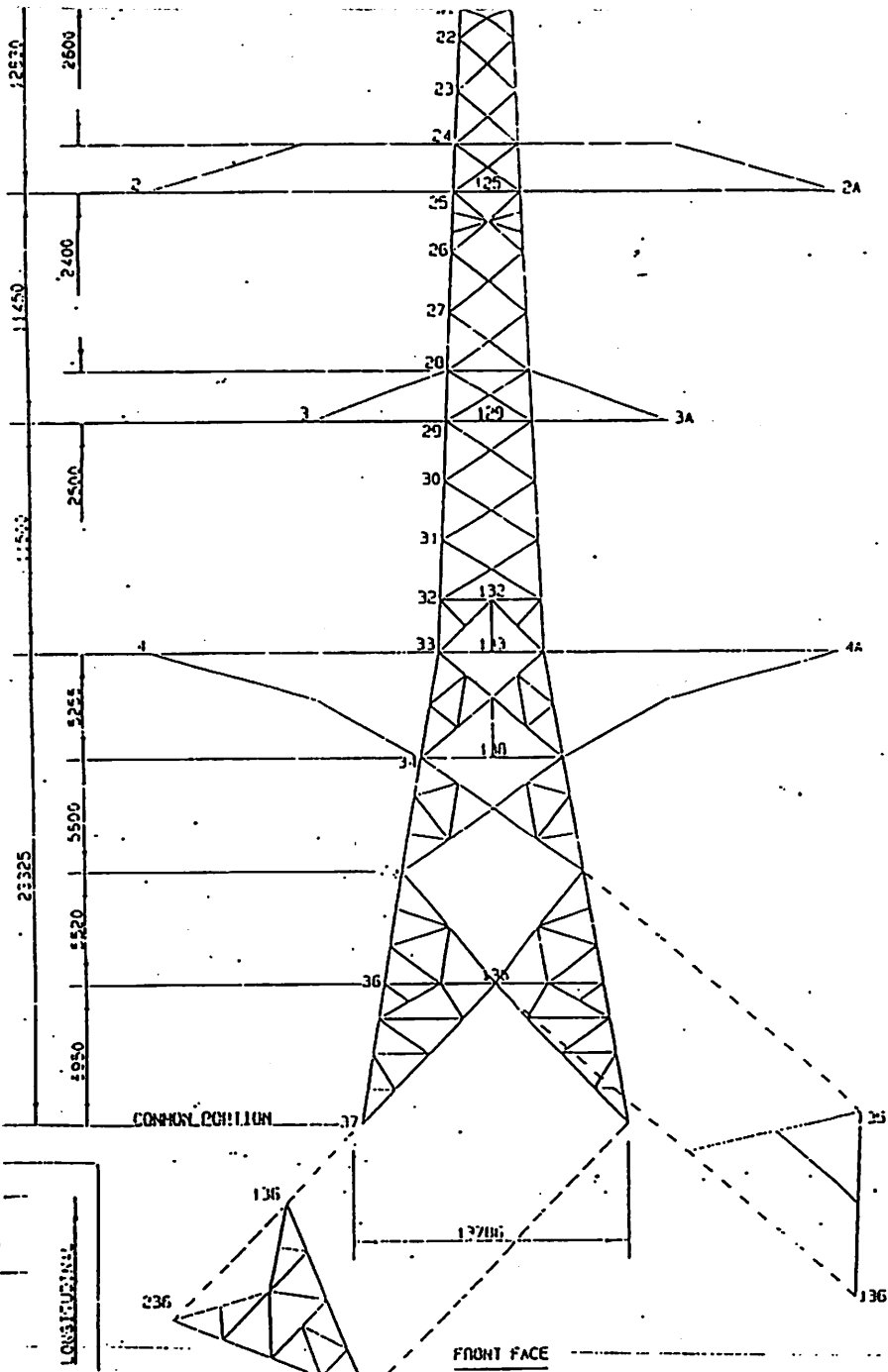
Sumber : PT.PLN (Persero), 1997, Volume 1



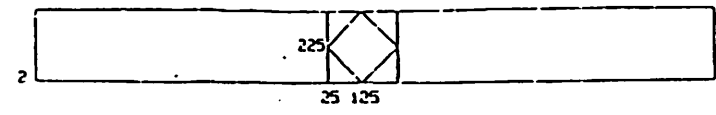
Data Sambaran Petir pada Jaringan 500 kV PLN

No.	Lines	Panjang (km)	Jumlah (kali)	Tanggal	Trip (Jam)	Normal (Jam)	Menit	MW	Causes of Faut
1.	SRLYA-GANDUL II	111,148	1	20/03/03	15.03	15.03	0	520	Lightning/hujan dan petir
2.	CIBNG - BKASI	37,92	1	21/06/03	17.56	17.56	0	60	Lightning/hujan dan petir
3.	PAITON - KEDIRI	210,350	4	23/02/03	15.55	15.55	0	0	Lightning/hujan dan petir
				20/03/03	15.59	16.00	1	270	Lightning/hujan dan petir
				19/09/03	13.18	13.18	0	150	Lightning/hujan dan petir
				10/12/03	15.48	15.48	0	200	Lightning/hujan dan petir
4.	CRATA - SGLNG I	25,166	1	11/03/03	19.17	19.17	0	20	Lightning/hujan dan petir
5.	CRATA - CBATU II	46,757	1	22/02/03	15.39	15.39	0	100	Lightning/hujan dan petir
6.	UNGRN - KRIAN	251,11	3	11/02/03	15.21	15.30	9	300	Lightning/hujan dan petir
				17/03/03	10.31	10.31	0	300	Lightning/hujan dan petir
				07/07/03	14.43	14.43	0	170	Lightning/hujan dan petir
7.	KRIAN - GRESIK	23,900	2	11/02/03	15.22	15.22	0	175	Lightning/hujan dan petir
				22/02/03	15.13	15.13	0	225	Lightning/hujan dan petir
8.	KEDIRI - PEDAN	139,954	1	04/11/03	15.40	15.40	0	200	Lightning/hujan dan petir
9.	SGLNG - BDSLN	37,426	1	05/07/03	18.21	18.21	0	325	Lightning/hujan dan petir
10.	KRIAN - GRATI II	79,410	2	11/02/03	15.21	15.21	0	180	Lightning/hujan dan petir
				05/05/03	08.14	08.14	0	60	Lightning/hujan dan petir
11.	CLGON - CIBNG	130,81	1	17/05/03	17.30	17.30	0	80	Lightning/hujan dan petir
12.	CRATA - CBATU II	46,757	1	12/01/03	15.28	15.28	0	145	Lightning/hujan dan petir

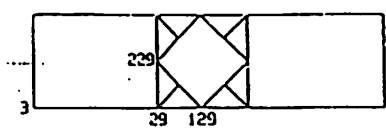




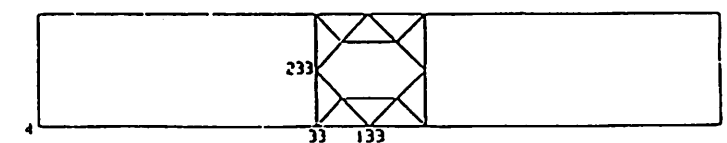
EARTHWIRE CROSSARM
- FOR DETAILS SEE SHEET. 5



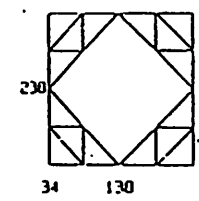
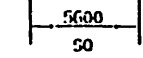
TCP CROSSARM
- FOR DETAILS SEE SHEET. 5



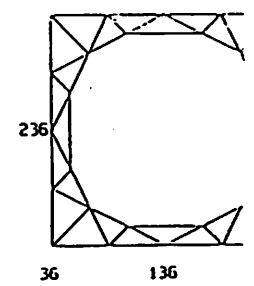
MIDDLE CROSSARM
- FOR DETAILS SEE SHEET. 7



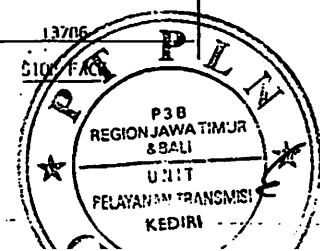
BOTTOM CROSSARM
- FOR DETAILS SEE SHEET. 8



PLAN BRACING
AT POINT 34



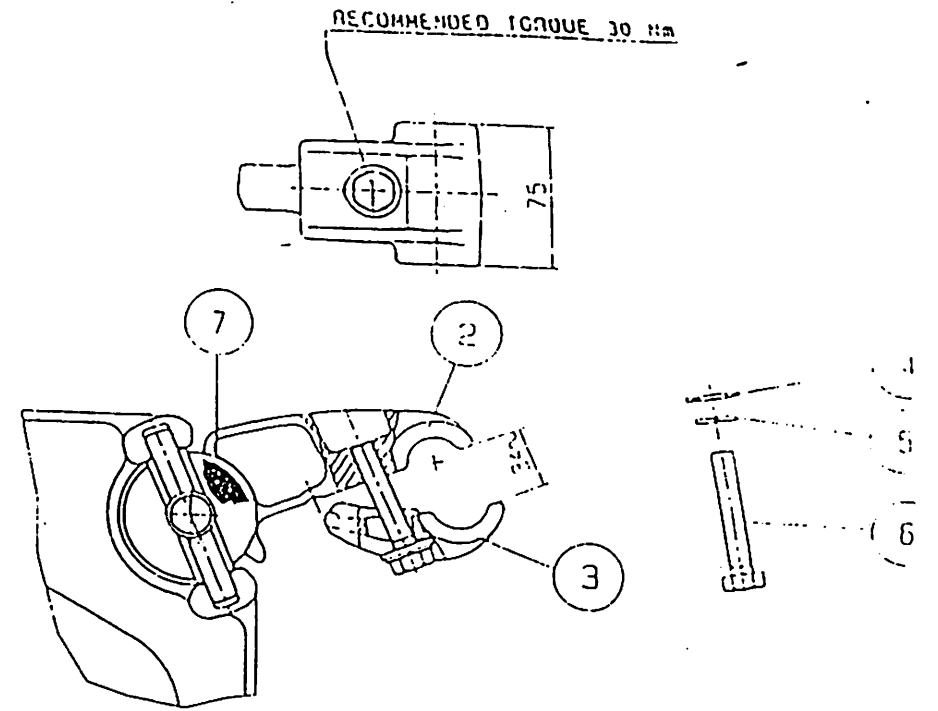
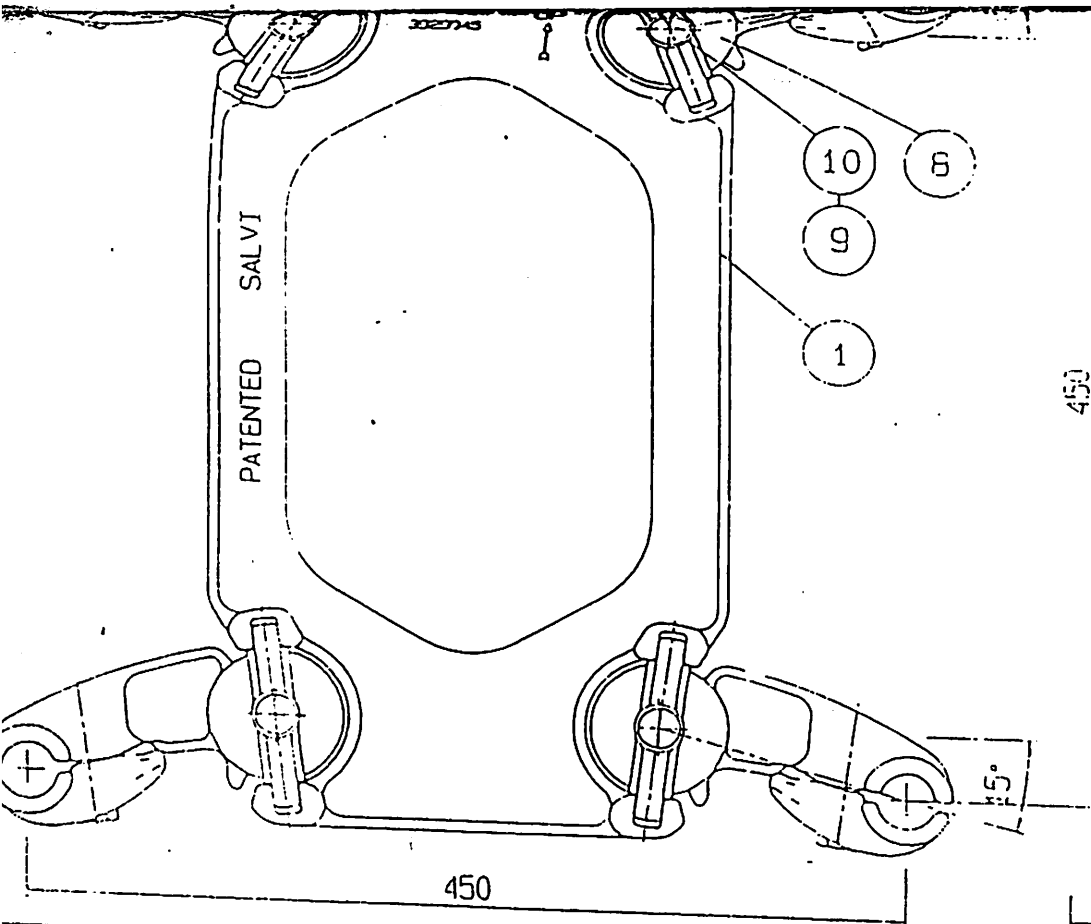
PLAN BRACING
AT POINT 36



TOWER GG - NOTATION DIAGRAM : COMMON PORTIC

ISSUE : A


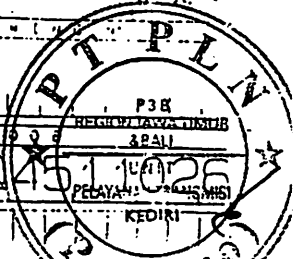
DATE : 29 / 04 / 98



THE ASSEMBLY IS IDENTIFIED MARKING ON THE CENTRAL SUPPORT THE GENERAL DENOMINATION AND ON THE KEEPER THE RANGE OF THE CONDUCTION.

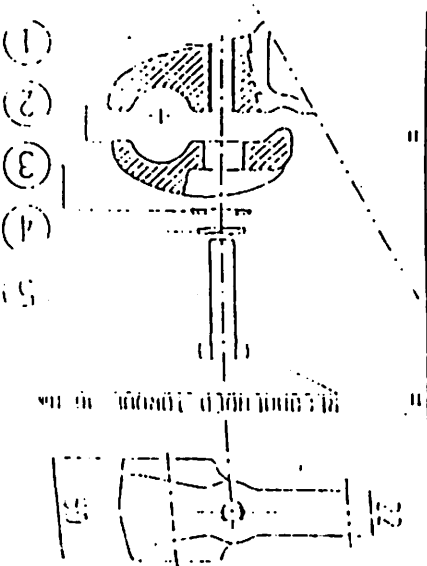
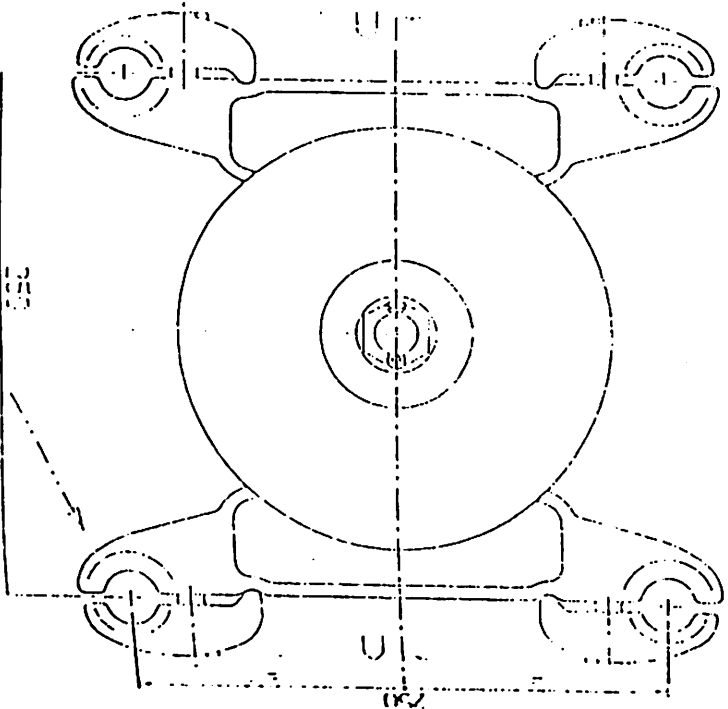
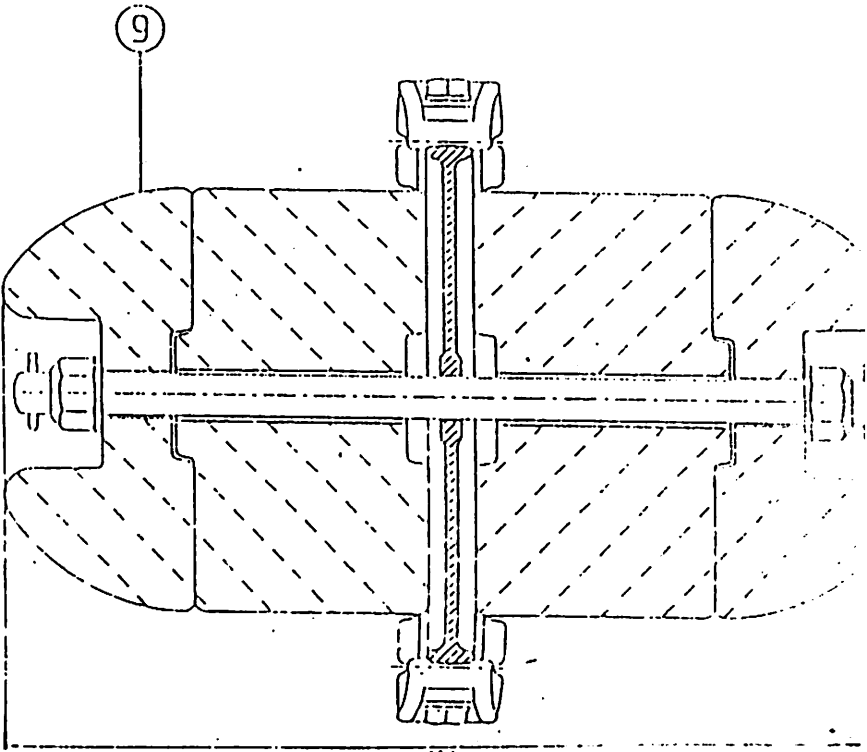
PATENTED

rivet	4	stainl. steel	030-5-1	
plain washer	4	stainl. steel	RFM10INOX	
support	8	alua. alloy	3927-7	
elastomer	8	rubber	033-9	
M12 bolt	4	galvanized steel	VTE12X60	
elastic washer	4	galvanized steel	RGM12	
plain washer	4	galvanized steel	RP28X13X3	
keeper	4	alua. alloy	3924-4-26	
clamp body	4	alua. alloy	3929-1-26	
central support	1	alua. alloy	3929045	
DEMININATION	N°	MATERIAL	CODE	NOTE 3

REV.	DATE	MODIFICATION	REVISION
3	10.03.95	GENERAL REVISED	
THIS DRAWING IS PROPERTY OF A.SALVI S.p.A. AND IS NOT TO BE REPRODUCED OR USED TO FURNISH ANY INFORMATION EXCEPT WHEN PROVIDED FOR BY AGREEMENT WITH SAID COMPANY		DRAWING BY SOSTANO	DATE 23 01 95
CLIENT REFERENCES		DATE	
			
DENOMINATION		C.O.D.E.	
SPACER DAMPER FOR GLADHUPLE CONDUCTORS FROM 24 TO 26 mm Dia.		3929045	
SCALE	REV	al	

THE ASSEMBLY IS IDENTIFIED MARKING ON THE CENTRAL SUPPORT THE GENERAL DENOMINATION AND ON THE KEPPER THE RANGE OF THE CONDUCTORS

DESCRIPTION	II	MATERIAL	CODE	REMARKS
counter weight assembly	1	galvanized iron	037-97	25 Kg
M12 bolt	4	galvanized steel	U1E12X50	
spring washer	4	galvanized steel	RG112	
plain washer	4	galvanized steel	RPI12	
keeper	4	aluminium alloy	3862A2-26	
central support	1	aluminium alloy	3865025-26	

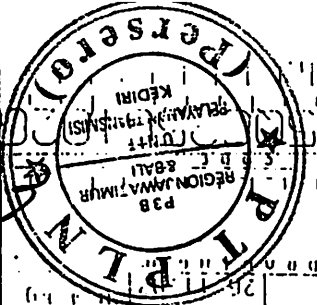


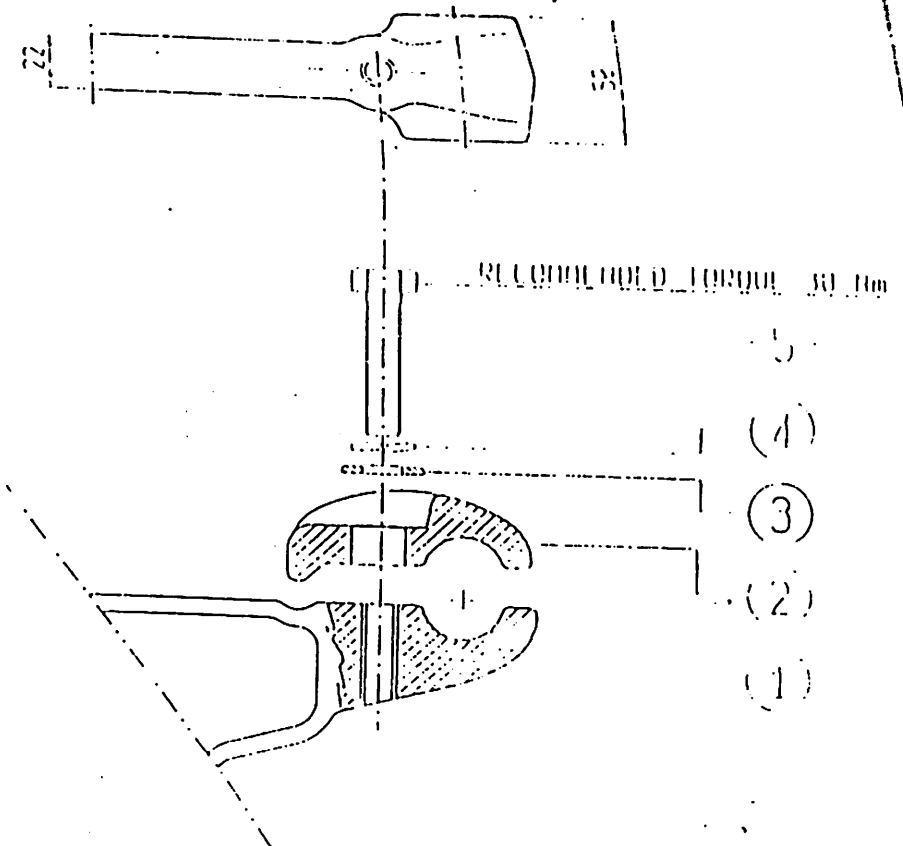
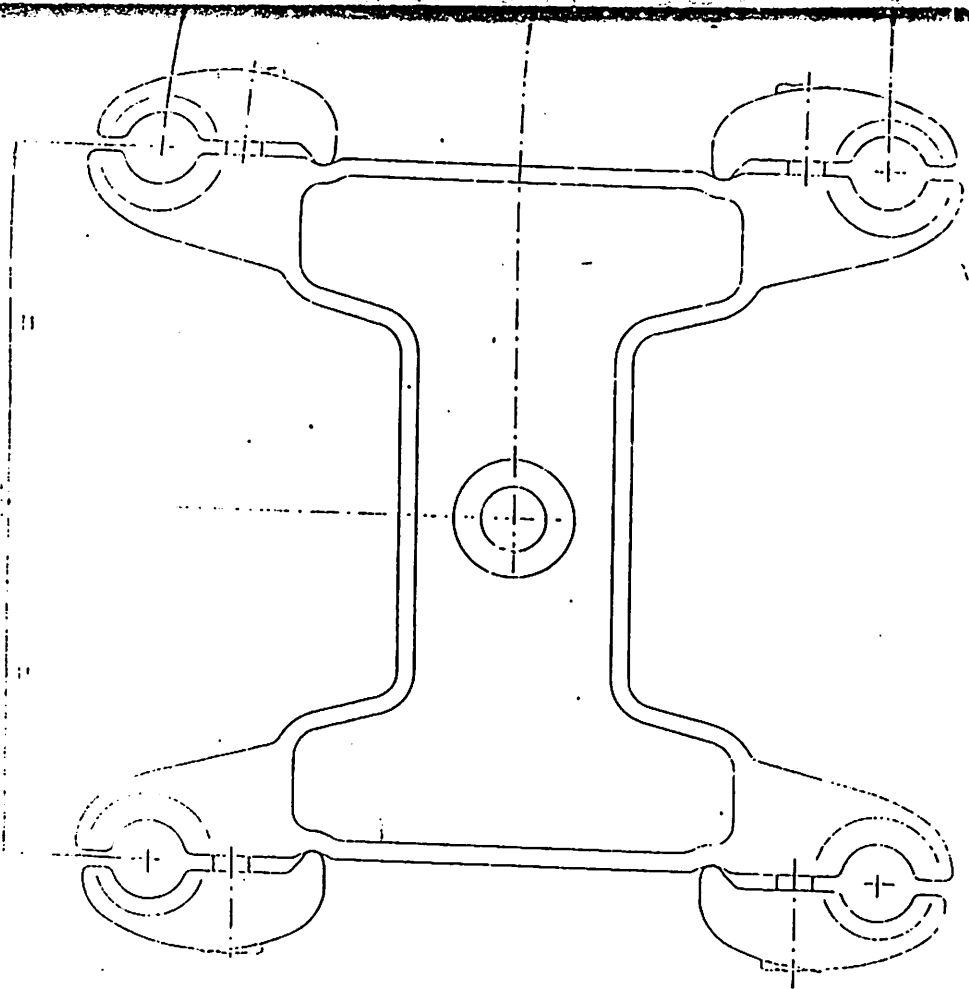
NO.	DESCRIPTION	UNIT
b	21.05.90	general level
a	01.04.80	general level

THIS DRAWING IS PROPERTY OF REGIONAL SUPPLY AND MAINTENANCE DEPARTMENT AND IS NOT TO BE REPRODUCED OR USED IN ANY MANNER WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF THE SAID DEPARTMENT.

FOR THE GENERAL ENGINEER IN CHARGE OF THE SUPPLY AND MAINTENANCE DEPARTMENT OF THE SAID DEPARTMENT.

REGIONAL SUPPLY AND MAINTENANCE DEPARTMENT
 RIGID SPACER FOR FOUR CONDUCTORS
 FORM 24 FOR 26 mm dia





RECOMMENDED TORQUE 30 Nm

- (5)
- (4)
- (3)
- (2)
- (1)

M12 bolt	4	galvanized steel	UTE 12X50
elastic washer	4	galvanized steel	RGM12
plain washer	4	galvanized steel	RP1112
keeper	4	aluminium alloy	3062A2-26
central support	1	aluminium alloy	3065Q25-26
DESCRIPTION	QTY	MATERIAL	CODE

01.01.90 general revised

THIS DRAWING IS PROPERTY OF PT PLN AND IS NOT TO BE REPRODUCED OR USED TO REPRODUCE ANY INFORMATION EXCEPT WHAT PROVIDED FOR BY AGREEMENT WITH SAID COMPANY

SUS LATA 25.11.90
SUS LATA 25.11.90

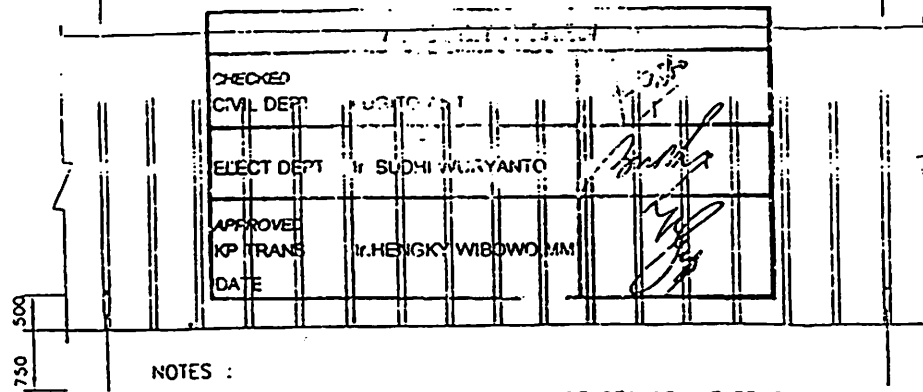
DRAWING NO

SALVI

PT PLN
P3B
REGION JAWA TIMUR
8 BALI
UNIT
PELAYANAN TRANSMISI
KEDIRI

RIGID SPACER FOR FOUR CONDUCTORS From 24 to 26 mm

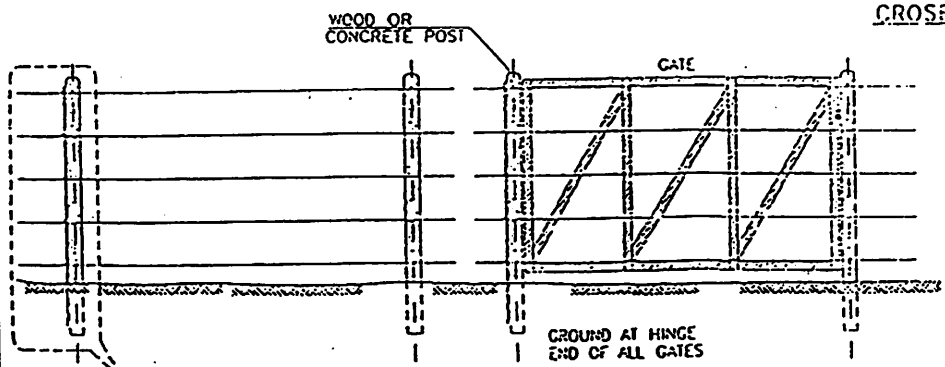
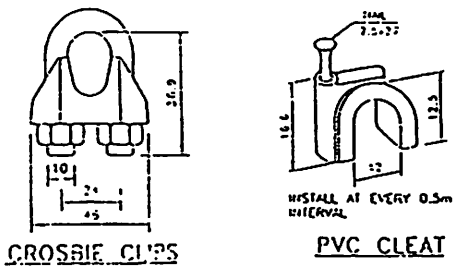
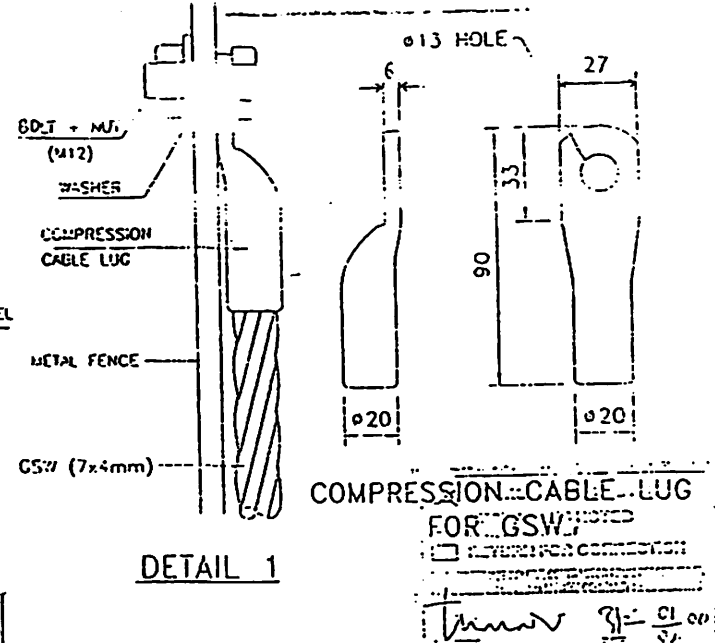
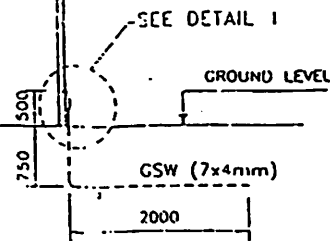
3865Q2561026



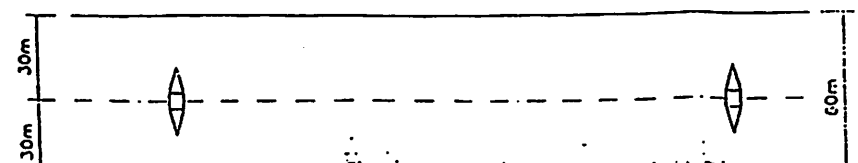
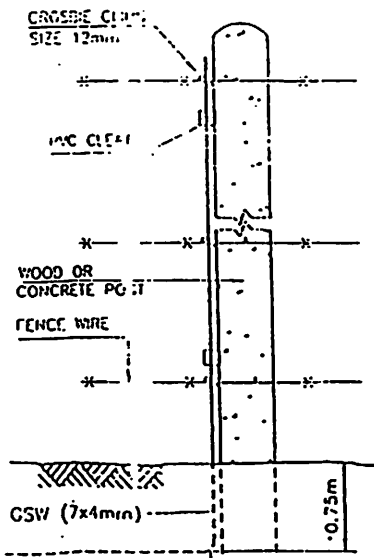
NOTES :
 - METAL FENCE \geq 100m LENGTH SHALL BE SECURELY EARTHED
 - METAL FENCE < 100m LENGTH USE 1PC EARTH ONLY

FENCE WITH METAL STEEL

NO	REVISION
001	ISSUE FOR COPY
002	02 MAR 2009



WIRE FENCE



REV.	STATUS	DATE	MODIFICATION	CHK'D	APPR
A	FA	2-17-99	FOR PLN APPROVAL		



PT. PLN (PERSERO)

PROJECT : SURVEY T/L PAITON - KEDIRI - KLATEN PROJECT
 IBRD LOAN NO. 3978 - IND
 LOT 1. PAITON - KEDIRI CONTRACT No.023.PJP/922/1997/M
 LOT 2. KEDIRI - KLATEN CONTRACT No.024.PJP/922/1997/M

EARTHING COUNTERPOISE FOR METAL FENCE AND BARBED WIRE FENCE

NO	REVISION	DATE	SHEET
1	ISSUE FOR COPY	2-12-99	1
2	02/03/09	10/12/09	OF
3			1

PROPOSED NOTED
 RETURN FOR CORRECTION
 9/12/20
 0/4

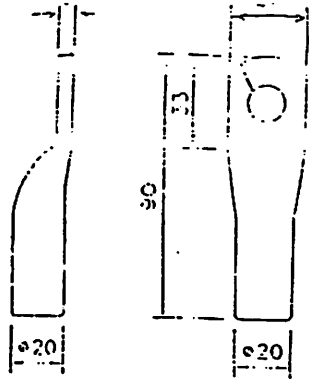
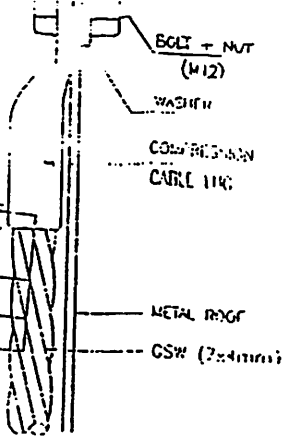
GSW (7x4mm)

SEE DETAIL '2'

ISSUE MASTER COPY

PROJECT GSD 18.02.1988

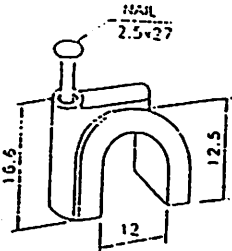
FLOOR DATE 02 MAR 2000



COMPRESSION CABLE L FOR GSW

BUILDINGS WITH METAL ROOF

2000

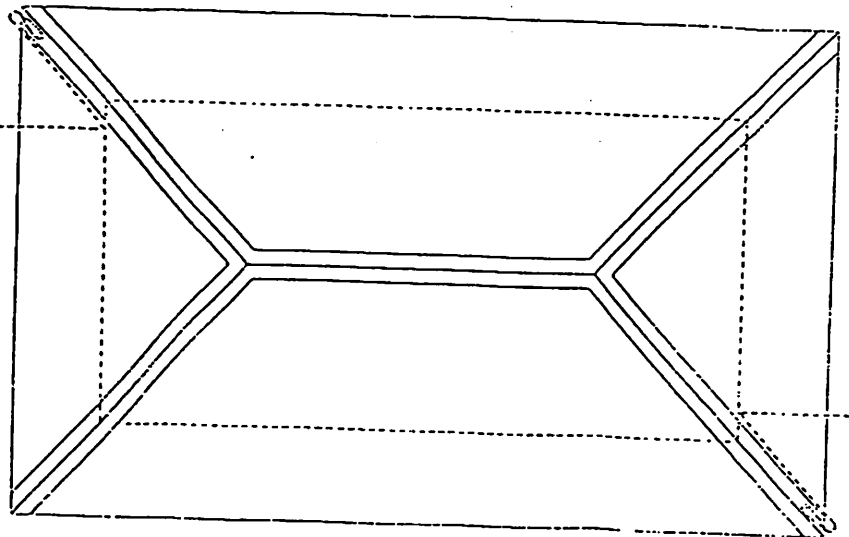


INSTALL AT EVERY 0.5m INTERVAL

DETAIL 2

GSW (7x4mm)

NOTE: GALVANISED ZINC RIDGE ON TILE ROOFS MUST BE EARTHED



ROOF PLAN

DETAIL 1

AS-BUILT

A	FA	20 12 99	100 PER INTAKAN	
REV.	STATUS	DATE	REVISI	CRICK

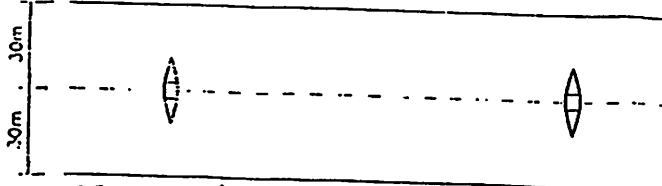


PT. PLN (PERSERO)

PROJEK: 500KV T/L PAITON - KEDIRI - KLATEN PROJEK
 IHRD LOAN NO. 3978 - IND
 LOT 1. PAITON - KEDIRI CONTRACT No 024.PJP/022/199
 LOT 2. KEDIRI - KLATEN CONTRACT No 024.PJP/022/199

EARTHING COUNTERPOISE FOR METAL ROOFS

BS **IP** **SCB**
 PT BALFOUR BEATTY SIA
 INDONESIA
 BALFOUR BEATTY LIMITED
 JOINT OPERATION
 REGION JAWA TIMUR
 23 11 99
 10/12/99
 KEDIRI
 13/PMK 2020/22
 REV. A



AREA OF METAL ROOFS OF EXISTING BUILDINGS SHALL BE SECURELY EARTHED

KEY PLAN

AS BUILT REVIEW	
CAVE	LUGITO ART
ELECT DEPT	Ir. BUDHI WURYANTO
APPROVED	

LAMPIRAN

B



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : HADI WURIONO
NIM : 96.12.075
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI
SUSUNAN KAWAT KONDUKTOR
PADA MENARA TRANSMISI
TERHADAP KEGAGALAN PERISAIAN
PADA SUTET 500 kV

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

Hari : Jumat
Tanggal : 30 September 2005
Dengan Nilai : 76,75 (B+) *Sm*

Panitia Ujian Skripsi



Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua



Ir. Yudi Limproptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji

Sm 28/10/05

Ir. I Made Wartana, MT
Penguji Pertama

Ir. M. Abdul Hamid, MT
Penguji Kedua



LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1. Nama | : HADI WURIONO |
| 2. NIM | : 96.12.075 |
| 3. Jurusan | : TEKNIK ELEKTRO |
| 4. Konsentrasi | : TEKNIK ENERGI LISTRIK |
| 5. Program Pendidikan | : STRATA SATU (S-1) |
| 6. Judul Skripsi | : ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI
SUSUNAN KAWAT KONDUKTOR
PADA MENARA TRANSMISI
TERHADAP KEGAGALAN PERISAIAN
PADA SUTET 500 kV |
| 7. Tanggal Mengajukan Skripsi | : 07 Januari 2005 |
| 8. Tanggal Menyelesaikan Skripsi | : 17 Juli 2005 |
| 9. Dosen Pembimbing | : Ir. Teguh Herbasuki, MT |
| 10. Telah Dievaluasi dengan nilai | : 85 (delapan puluh lima) <i>85</i> |



Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

Malang, Oktober 2005
Disetujui
Dosen Pembimbing

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. 103 890 0209



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang Strata Satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Jumat
Tanggal : 30 September 2005

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

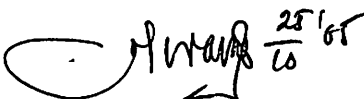
Nama : HADI WURIONO
NIM : 96.12.075
Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
Judul Skripsi :


ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI SUSUNAN KAWAT KONDUKTOR PADA MENARA TRANSMISI TERHADAP KEGAGALAN PERISAIAN PADA SUTET 500 kV

Perbaikan meliputi :

No.	Materi perbaikan	Keterangan
1.	☐ Judul, tujuan dan kesimpulan belum klop.	
2.	☐ Penulisan "Daftar Pustaka" harus sesuai abjad	

Disetujui/Diperiksa


Ir. I Made Wartana, MT
Penguji Pertama


Ir. M. Abdul Hamid, MT
Penguji Kedua

Mengetahui/Menyetujui
Dosen Pembimbing


Ir. Teguh Herbasuki, MT



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : HADI WURIONO
Nim : 96.12.075
Masa Bimbingan : 07 Januari 2005 s/d 07 Juli 2005
Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI
SUSUNAN KAWAT KONDUKTOR PADA
MENARA TRANSMISI TERHADAP
KEGAGALAN PERISAIAN PADA SUTET
500 kV

No.	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	28/01 05	Konsultasi pembuatan skripsi	
2.	07/03-05	Konsultasi bab I & II	
3.	23/03-05	Revisi bab I & II	
4.	10/04-05	Konsultasi bab III	
5.	29/04 05	Konsultasi bab IV	
6.	12/05-05	Revisi bab III	
7.	28/05-05	Revisi bab IV	
8.	16/06 05	Konsultasi bab V	
9.	28/06 05	Konsul. makalah seminar.	
10.	17/07 05	Acc seminar.	

Malang,
Dosen Pembimbing


Ir. Teguh Herbasuki, MT