



**ANALISIS PERENCANAAN PENAMBAHAN  
GROUNDING SYSTEM PADA ARESTER  
DI GI JEMBER**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 (S1) Teknik Elektro  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Asal :	Hadiah Pembelian	Klass
Tanggal Jurnal Pembelian	01 MAY 2009	621.319 HOS a
Oleh		

Oleh  
**Roiyatul Hosnan**  
NIM. 041910201043

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2009**

## PERSEMBAHAN

Dengan bangga dan penuh rasa syukur kehadiran Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk:

### **Bapakku Miluk dan Ibunda Asrima**

Cinta dan kasih sayang yang tidak pernah putus serta doa yang tak pernah henti-hentinya dipanjatkan kepada-Nya demi kesuksesanku.

*...I'll always try to be a person who you expect*

### **Mbak Mang dan Cak Nono (...and my little nephew 'Warda')**

Dukungan dan nasihat yang terus mengalir memicu semangatku untuk terus maju.

*...I Love You All*

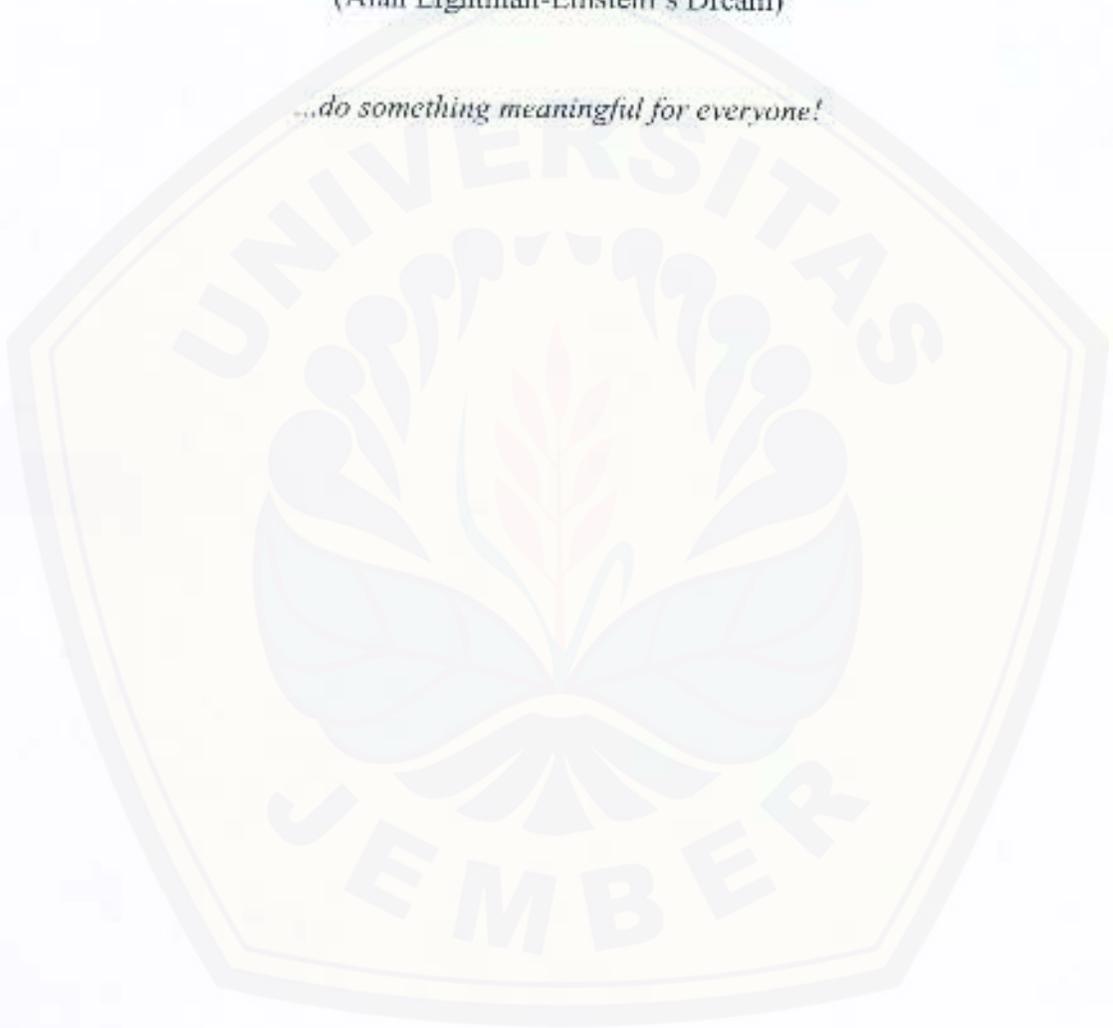
**Almamaterku Teknik Elektro, yang kubanggakan.**

**MOTTO**

*Waktu adalah pedoman untuk menilai semua tindakan.  
Waktu adalah kejernihan untuk melihat salah atau benar.*

(Alan Lightman-Einstein's Dream)

*...do something meaningful for everyone!*



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Roiyatul Hosnan

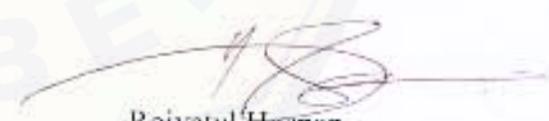
NIM : 041910201043

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: "*Analisis Perencanaan Penambahan Grounding System Pada Arestor di GI Jember*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 Pebruari 2009

Yang menyatakan,



Roiyatul Hosnan  
NIM 041910201043

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERENCANAAN PENAMBAHAN  
GROUNDING SYSTEM PADA ARESTER  
DI GI JEMBER**

Oleh  
Roiyatul Hosnan  
NIM. 041910201043

**Pembimbing**

Dosen Pembimbing Utama : Suprihadi Prasetyono, ST., MT  
Dosen Pembimbing Anggota : H. R. B. Moch. Gozali, ST., MT

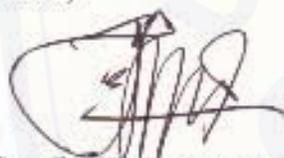
LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi berjudul *Analisis Perencanaan Penambahan Grounding System Pada Arestor di GI Jember* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember pada:

hari : Selasa  
tanggal : 27 Januari 2009  
tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,



Suprihadi Prasetyono, ST., MT  
NIP. 320 148 400

Sekretaris,



H. R. B. M. Gozali, ST., MT  
NIP. 132 231 416

Anggota I,



Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT  
NIP. 132 162 512

Anggota II,



Sumardi, ST., MT  
NIP. 132 206 138

Anggota III,



Ir. Widyono Hadi, MT  
NIP. 131 832 307



Mengesahkan  
Disahkan,

Widyono Hadi, MT  
NIP. 131 832 307

## RINGKASAN

**Analisis Perencanaan Penambahan Grounding System Pada Arester di GI Jember**, Roiyatul Hosnan, 041910201043; 2009; Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Gardu induk (GI) adalah sistem penyaluran tenaga listrik baik dari suatu sumber pembangkitan ke suatu sistem distribusi atau kepada konsumen, ataupun penyaluran tenaga listrik antar sistem. Sehingga sangat membutuhkan suatu sistem keamanan yang baik terhadap gangguan yang mungkin terjadi. Gangguan bisa disebabkan karena adanya peralatan yang rusak. Salah satu gangguan yang sering terjadi dan dapat menyebabkan masalah yang serius pada jaringan listrik adalah sambaran petir.

Petir yang menyambar dapat menimbulkan gelombang berjalan yang dapat menimbulkan loncatan busur api listrik (*flashover*). Pada keadaan ini dapat membahayakan peralatan listrik yang terhubung ke jaringan dan dapat pula mengancam keselamatan jiwa manusia. Untuk itu dibutuhkan suatu alat pengaman arester. *Arrester (Lightning Arrester)* adalah alat yang digunakan untuk melindungi peralatan listrik terhadap sambaran petir.

Oleh karena lokasi peralatan listrik gardu induk biasanya tersebar dan berada pada daerah yang kemungkinannya mempunyai struktur tanah berlapis-lapis maka diperlukan perencanaan pentanahan yang sesuai. Salah satu usaha untuk memperkecil tegangan permukaan tanah maka diperlukan suatu pentanahan yaitu dengan cara menambahkan elektroda pentanahan yang ditanam ke dalam tanah.

Pengukuran pada penelitian skripsi ini dilakukan di GI Jember pada bulan Januari 2009. Pengukuran dilakukan di dua tempat yaitu pada arester arah Bondowoso-1 dan Bondowoso-2. Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data nilai tahanan tanah. Pada pengukuran ini digunakan alat *Earth Tester* merek Kyoritsu 4105A. Langkah pengukuran, yang pertama yaitu mengukur tahanan tanah pada tiap

Line sebelum ditambahkan batang elektroda 2 batang. Kedua, pengukuran dilakukan pada saat penambahan batang elektroda yaitu dengan cara me-maralel sistem pengetanahan pada Line yang satu dengan Line yang sebelahnya sehingga elektroda yang ditanam menjadi 4 batang.

Penambahan batang elektroda dari 2 batang menjadi 4 batang diperoleh nilai tahanan tanah hasil perhitungan adalah sebesar 1,4 ohm.

Dari hasil pengukuran di dua tempat di atas, GI Jember memiliki nilai tahanan tanah pada arester sangat besar. Sedangkan berdasarkan standar PUIL 2000, untuk pengetanahan peralatan dibutuhkan nilai tahanan tanahnya sebesar  $< 3$  ohm. Sehingga dengan hasil tersebut di atas, GI Jember membutuhkan suatu penambahan batang elektroda sebagai upaya untuk memperkecil nilai tahanan tanahnya dan memperkecil adanya gangguan terhadap peralatan akibat sambaran petir.

## PRAKATA

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Perencanaan Penambahan Grounding System Pada Arester di GI Jember”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Ir. Widyono Hadi, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. H. R. B. Moch. Gozali, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Suprihadi Prasetyono, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I dan H. R. B. Moch. Gozali, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan masukan dan meluangkan waktu serta pikiran guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
4. Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT, Sumardi, ST., MT, dan Ir. Widyono Hadi, MT selaku Tim Penguji Skripsi;
5. Dwi Retno Istiyadi, ST dan Achmad Maududic, ST., M.Sc selaku Dosen Pembimbing Akademik (DPA);
6. Bapak Bangun dan seluruh karyawan di GI Jember yang telah banyak membantu penulis dalam melakukan penelitian;
7. Kedua orang tua dan seluruh kerabat keluarga atas doa, nasihat dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis;
8. Sahabat-sahabatku di Twenty Six Studio [tempat kongkow arek kreatif]: Ancha 'Ancha-Man', Dikha 'dr. Dhe', Ikhsan 'Lazy Beat', Nurlan 'Lansc@pe', Nuzul 'Stern.exe', Punjung 'Phe-Je'. Mengenal kalian adalah sebuah anugerah,...*don't stop creation, Dude!*

9. Teman-teman se kosan (*Mrs. Aziz Bording House*): Ikhsan 'The Bajahitam', Bogi 'Budhel', Omar 'Bajoel', Maherdi 'Dallbo' dan Mas Fajar 'Mantox' (Ex). Atas semua canda dan tawa yang telah dilalui bersama;
10. Teman-teman seangkatan Teknik Elektro 2004;
11. Partner-partnerku di UKM Robotika, ne-LAB, dan Softronic;
12. Semua orang yang telah banyak membantu dan memberikan inspirasi;

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan. Penulis juga menerima kritik dan saran untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan diharapkan dapat dikembangkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Jember, Pebruari 2009

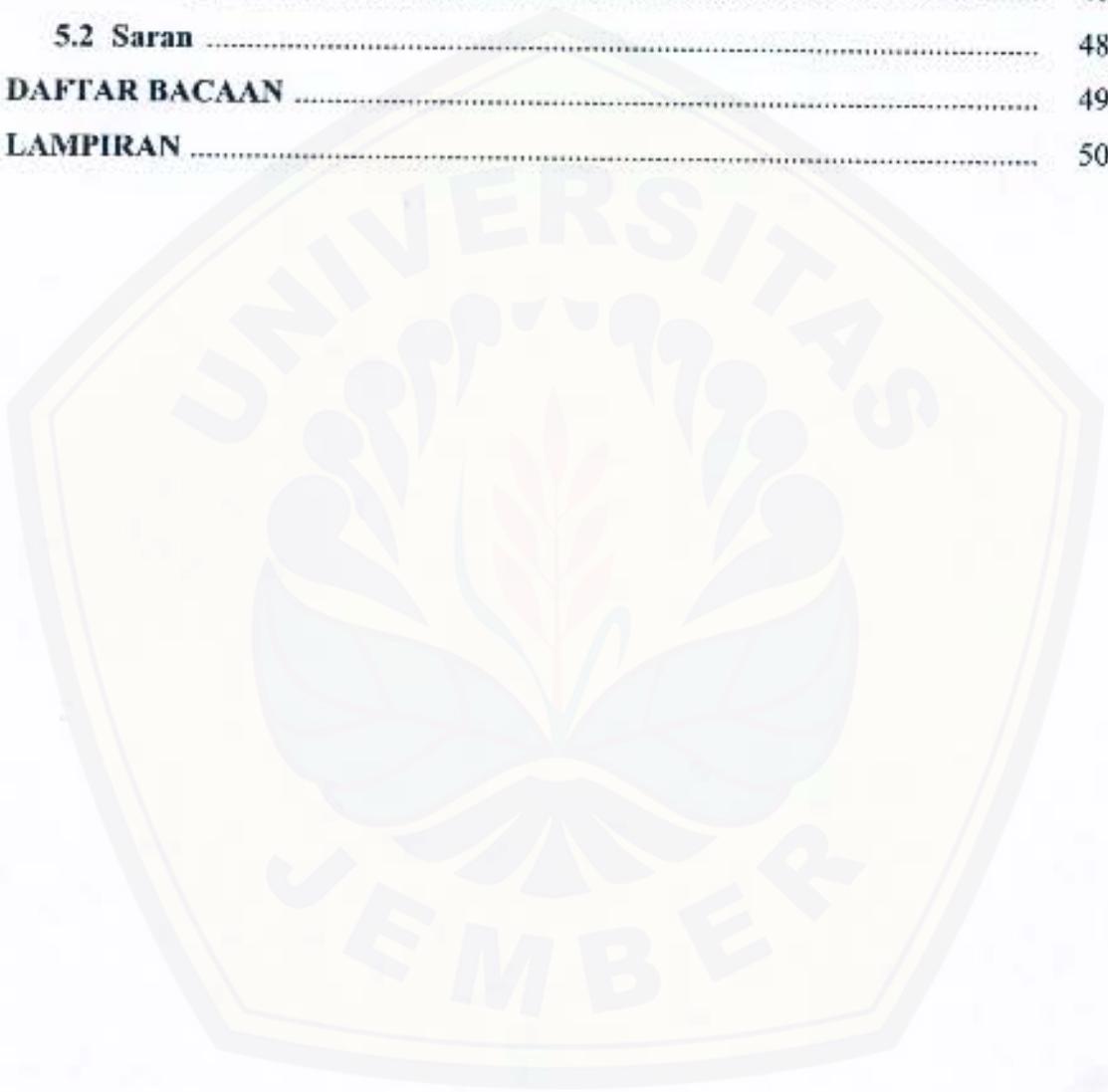
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vi
RINGKASAN .....	vii
PRAKATA .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Tujuan dan Manfaat</b> .....	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Gardu Induk</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 Klasifikasi Gardu Induk .....	4
2.1.2 Peralatan Utama Gardu Induk .....	
<b>2.2 Petir</b> .....	<b>5</b>
2.2.1 Mekanisme Sambaran Petir .....	6
2.2.2 Efek Sambaran Petir .....	7
2.2.3 Alat Pelindung Petir .....	8

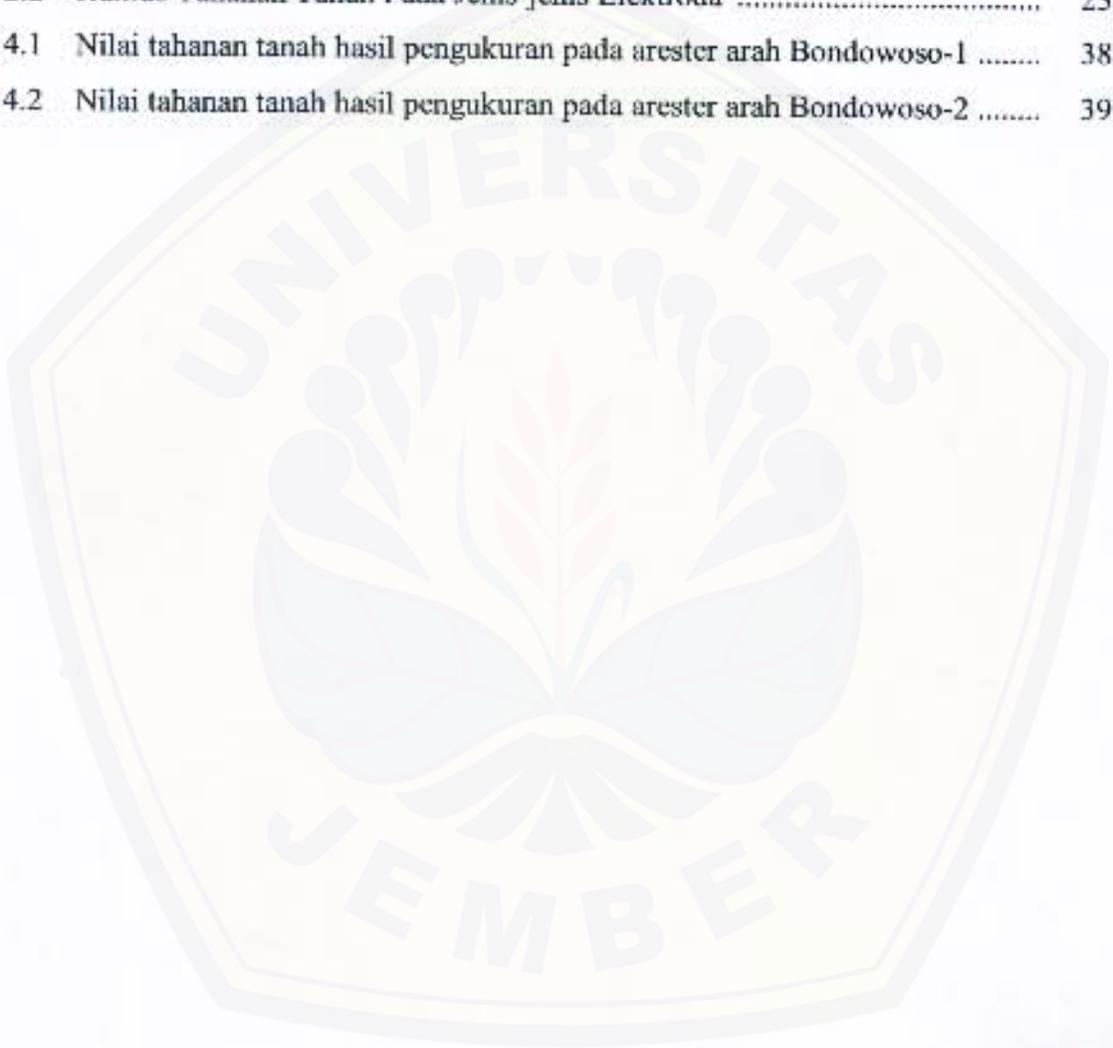
<b>2.3 Arester</b> .....	8
2.3.1 Arester Jenis Ekspulsi ( <i>expulsion type</i> ) atau Tabung Pelindung ...	9
2.3.2 Arester Jenis Katup ( <i>valve type</i> ) .....	10
2.3.3 Pemilihan Arester .....	12
<b>2.4 Pembumian (Pengetanahan)</b> .....	12
2.4.1 Pemilihan Metode Pengetanahan .....	13
2.4.2 Komponen Utama Sistem Pengetanahan .....	15
<b>2.5 Karakteristik Tanah</b> .....	17
<b>2.6 Tahanan Jenis Tanah</b> .....	19
2.6.1 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah .....	21
<b>2.7 Tahanan Pengetanahan</b> .....	23
<b>2.8 Elektroda Batang (<i>Rod</i>)</b> .....	25
2.8.1 Satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah ...	26
2.8.2 Dua batang elektroda tegak lurus ke dalam tanah .....	28
2.8.3 Beberapa batang elektroda ( <i>Multiple-Rod</i> ) yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah .....	29
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	31
<b>3.1 Waktu dan Tempat</b> .....	31
<b>3.2 Tahapan Penelitian</b> .....	31
<b>3.3 Pengumpulan Data</b> .....	31
<b>3.4 Metode Pengambilan Data</b> .....	32
<b>3.5 Tahapan Pengolahan Data (Perhitungan)</b> .....	33
<b>3.6 Diagram Alir Kerja Penelitian</b> .....	34
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	35
<b>4.1 Analisis Hasil Pengukuran</b> .....	35
4.1.1 Pengukuran Pada Arester Arah Bondowoso-1 .....	38
4.1.2 Pengukuran Pada Arester Arah Bondowoso-2 .....	38
<b>4.2 Analisis Hasil Perhitungan</b> .....	39
4.2.1 Perhitungan untuk 2 (dua) batang elektroda .....	39

4.2.2	Perhitungan untuk 4 (empat) batang elektroda .....	42
4.2.3	Perhitungan Error % .....	44
<b>BAB 5. PENUTUP</b>	.....	<b>48</b>
5.1	Kesimpulan .....	48
5.2	Saran .....	48
<b>DAFTAR BACAAN</b>	.....	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>50</b>



**DAFTAR TABEL**

	<b>Halaman</b>
2.1 Tahanan berbagai jenis tanah berdasarkan PUIL 2000 .....	20
2.2 Rumus Tahanan Tanah Pada Jenis-jenis Elektroda .....	23
4.1 Nilai tahanan tanah hasil pengukuran pada arester arah Bondowoso-1 .....	38
4.2 Nilai tahanan tanah hasil pengukuran pada arester arah Bondowoso-2 .....	39



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Peristiwa sambaran petir .....	7
2.2 Arrester .....	9
2.3 Elemen-elemen arrester jenis ekspulsi .....	10
2.4 Elemen-elemen arrester jenis katup .....	11
2.5 Elektroda Batang.....	15
2.6 Elektroda Pita .....	15
2.7 Elektroda Pelat .....	16
2.8 Elektroda Jembatan .....	17
2.9 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode empat elektroda .....	21
2.10 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode tiga titik .....	22
2.11 Distribusi tegangan sekitar satu batang elektroda .....	25
2.12 Distribusi tegangan sekitar dua batang elektroda .....	26
2.13 Satu batang elektroda tegak lurus ke dalam tanah .....	27
2.14 Dua batang elektroda tegak lurus ke dalam tanah .....	29
2.15 Beberapa batang elektroda tegak lurus ke dalam tanah .....	30
3.1 Pengukuran di lapangan .....	33
3.2 Diagram alur kerja penelitian .....	34
4.1 Arrester GI Jember .....	35
4.2 Penyambungan <i>grounding system</i> pada arrester .....	36
4.3 Metode pengukuran tiga titik .....	37
4.4 <i>Earth Tester</i> merek Kyoritsu 4105A .....	37
4.5 Posisi penanaman batang elektroda .....	40
4.6 Grafik perbandingan perhitungan dengan pengukuran tahanan tanah rata-rata pada arrester untuk 2 (dua) batang elektroda .....	42
4.7 Grafik perbandingan perhitungan dengan pengukuran tahanan tanah rata-rata pada arrester untuk 4 (empat) batang elektroda .....	43

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Dokumentasi Pengukuran di Lapangan .....	50
B. Konfigurasi Transmisi 150 kV UPT Jember .....	52
C. Surat Keterangan Penelitian.....	54
D. Data Peralatan <i>Lightning Arrester</i> (LA) di GI Jember.....	55
E. <i>Single Line</i> 150/20 kV GI Jember.....	56
F. Data Sheet <i>Earth Tester</i> .....	57



## BAB I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Untuk meningkatkan kualitas suplai energi listrik seiring meningkatnya kebutuhan masyarakat atas energi listrik maka dibutuhkan suatu ketahanan dan keamanan yang berkualitas juga terhadap gangguan. Dalam hal ini gardu induk (GI) adalah pemegang peranan penting dalam sistem penyaluran tenaga listrik baik dari suatu sumber pembangkitan ke suatu sistem distribusi atau kepada konsumen, ataupun penyaluran tenaga listrik antar sistem. Sehingga sangat membutuhkan suatu sistem keamanan yang baik terhadap gangguan yang mungkin terjadi.

Gangguan bisa disebabkan karena adanya peralatan yang rusak. Salah satu gangguan yang sering terjadi dan dapat menyebabkan masalah yang serius pada jaringan listrik adalah sambaran petir.

Petir yang menyambar dapat menimbulkan gelombang berjalan yang dapat menimbulkan loncatan busur api listrik (*flashover*). Gelombang berjalan tersebut akan merambat melalui tiang menuju tanah, ada juga yang terpantul kembali. Gelombang berjalan ini saling berinterferensi satu sama lain dan tegangan bisa cukup tinggi untuk menimbulkan *flashover*. Pada keadaan ini dapat membahayakan peralatan listrik yang terhubung ke jaringan dan dapat pula mengancam keselamatan jiwa manusia. Untuk itu dibutuhkan suatu alat pengaman arester.

Arester (*Lightning Arrester*) adalah alat yang digunakan untuk melindungi peralatan listrik terhadap sambaran petir. Pada keadaan normal, Arester berfungsi sebagai isolator dan apabila terjadi sambaran petir, maka akan melewatkan petir pada elektroda bumi. Namun jika nilai pembumiannya cukup besar, maka petir akan dikembalikan lagi ke jaringan sehingga menimbulkan gangguan.

Sebuah bangunan gedung agar terhindar dari bahaya sambaran petir dibutuhkan nilai tahanan pentanahan  $< 5$  ohm (PUIL 2000), sedangkan untuk

pentanahan peralatan-peralatan elektronika dibutuhkan nilai tahanan pentanahan  $< 3$  ohm bahkan beberapa perangkat membutuhkan nilai tahanan pentanahan  $< 1$  ohm. (IGN Janardana:2005)

Karakteristik tanah merupakan salah satu faktor yang mutlak diketahui karena mempunyai kaitan erat dengan perencanaan dan sistem pentanahan yang akan digunakan. Oleh karena lokasi peralatan listrik gardu induk biasanya tersebar dan berada pada daerah yang kemungkinannya mempunyai struktur tanah berlapis-lapis maka diperlukan perencanaan pentanahan yang sesuai. Salah satu usaha untuk memperkecil tegangan permukaan tanah maka diperlukan suatu pentanahan yaitu dengan cara menambahkan elektroda pentanahan yang ditanam ke dalam tanah.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berkaitan dengan masalah tersebut di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Apakah tahanan tanah pada *Grounding System* pada arester di GI Jember memenuhi standar berdasarkan PUIL 2000.
2. Berapa besar hasil perbandingan nilai tahanan pengetanahan di GI Jember dengan hasil perencanaan.

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk mencapai suatu tujuan dalam pembahasan skripsi ini, maka diperlukan batasan-batasan dalam pembahasannya, yaitu meliputi:

1. Perencanaan penambahan *Grounding System* ini digunakan pada Arestor (*Lightning Arrester*).
2. Jenis elektroda yang direncanakan adalah elektroda batang (*rod*).
3. Analisa data hanya dilakukan pada perhitungan tahanan tanah elektroda.

## 1.4 Tujuan dan Manfaat

### 1.4.1 Tujuan

Tujuan dari pembahasan skripsi ini adalah merencanakan penambahan *Grounding System* pada arcster untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang kecil sehingga tegangan permukaan yang timbul tidak membahayakan baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan ke tanah serta membandingkan nilai tahanan pengetanahan di GI Jember dengan hasil perencanaan.

### 1.4.2 Manfaat

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka diperoleh nilai tahanan pembumian sehingga dapat membandingkan hasil perhitungan dengan data yang diperoleh dari GI Jember dan dapat memberikan solusi tentang perencanaan penambahan *grounding system* di GI Jember.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gardu Induk

Gardu induk adalah suatu instalasi listrik yang berfungsi untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik melalui sistem tegangan ekstra tinggi (TET), tegangan tinggi (TT) dan tegangan menengah (TM). Tenaga listrik yang diterima atau disalurkan berasal dari pusat-pusat pembangkit tenaga listrik ataupun dari gardu induk lain.

#### 2.1.1 Klasifikasi Gardu Induk

1. Klasifikasi gardu induk berdasarkan tegangannya
  - GI Transmisi
  - GI Distribusi
2. Klasifikasi gardu induk berdasarkan penempatan peralatannya
  - GI pasangan dalam (*in door substation*)
  - GI pasangan luar (*out door substation*)
  - GI sebagian pasangan luar (*combined out door substation*)
  - GI pasangan bawah tanah (*under ground substation*)
  - GI sebagian pasangan bawah tanah (*semi under groundsubstation*)
  - GI mobil (*mobile substation*)
3. Klasifikasi gardu induk berdasarkan isolasi yang dipakai
  - GI isolasi udara
  - GI isolasi gas (GIS)

### 2.1.2 Peralatan Utama Gardu Induk

1. Trafo
  - a. Trafo tenaga (trafo daya)
  - b. Trafo instrumen (pengukuran)
    - Trafo arus (CT)
    - Trafo tegangan (PT)
2. Pemutus tenaga (PMT / CB )
3. Pemisah (PMS / DS )
4. Busbar (rel daya)
5. Isolator
6. Lightning arrester (LA)
7. Reaktor (XL)
8. Static capasitor (SC)
9. Peralatan sistem pentanahan
10. Peralatan komunikasi (PLC / JWOTS)

### 2.2 Petir

Petir adalah suatu fenomena alam, yang pembentukannya berasal dari terpisahnya muatan di dalam awan yang terbentuk akibat adanya pergerakan udara keatas akibat panas dari permukaan laut serta adanya udara yang lembab (*cumulonimbus*). Umumnya muatan negatif terkumpul dibagian bawah dan ini menyebabkan terinduksinya muatan positif di atas permukaan tanah, sehingga membentuk medan listrik antara awan dan tanah. Jika muatan listrik cukup besar dan kuat medan listrik di udara dilampaui, maka terjadi pelepasan muatan berupa petir atau terjadi sambaran petir yang bergerak dengan kecepatan cahaya dengan efek merusak yang sangat dahsyat karena kekuatannya.

Petir lebih sering terjadi pada musim hujan, karena pada keadaan tersebut udara mengandung kadar air yang lebih tinggi sehingga daya isolasinya turun dan

arus lebih mudah mengalir. Karena ada awan bermuatan negatif dan awan bermuatan positif, maka petir juga bisa terjadi antar awan yang berbeda muatan.

Indonesia terletak didaerah katulistiwa yang panas dan lembah, mengakibatkan terjadinya hari guruh (*Iso Keraunic Level*) yang sangat tinggi dibanding daerah lainnya (100-200 hari pertahun). Kerapatan sambaran petir di Indonesia juga sangat besar yaitu 12/km<sup>2</sup>/tahun yang berarti pada setiap luas area 1 km<sup>2</sup> berpotensi menerima sambaran petir sebanyak 12 kali setiap tahunnya. ([www.petir.com/pdf](http://www.petir.com/pdf))

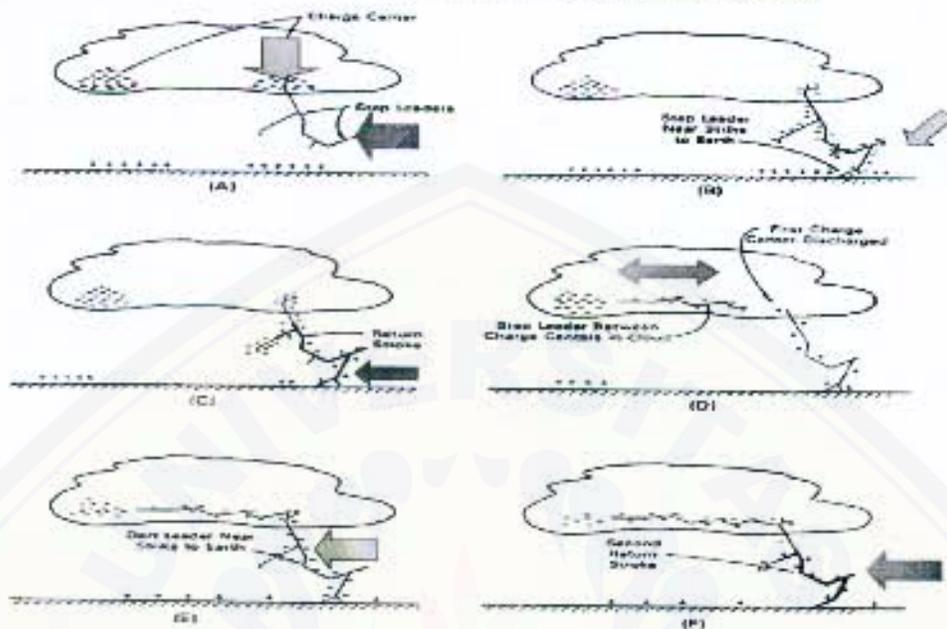
### 2.2.1 Mekanisme Sambaran Petir

Kristal es pada awan yang aktif mempunyai kandungan muatan positif dan air hujan biasanya mengandung muatan negatif. Dipengaruhi grafitasi bumi, butir air terpolarisasi akan bergerak turun yang menyebabkan ion negatif ditarik dan ion positif ditolak sehingga pada daerah bagian bawah akan terhimpun muatan negatif yang menciptakan muatan terpisah dalam awan.

Awan bagian bawah yang bermuatan negatif menginduksi muatan positif di permukaan bumi sehingga menyebabkan munculnya tegangan antara awan bermuatan dengan bumi. Bila gradien tegangan telah melebihi kekuatan listrik udara 30 kV/cm maka terjadi pelepasan energi (*leader stroke*) yang bergerak dari awan ke bumi.

Setelah *leader stroke*, terjadi sambaran kembali (*return stroke*) dari bumi ke awan melalui jalan yang sama. Peristiwa ini menyebabkan adanya perbedaan tegangan yang cukup besar antara muatan positif di bumi dengan muatan negatif di awan. Beberapa saat kemudian terjadi lagi sambaran dari awan ke bumi melalui jalan yang sama (*dart leader*), lalu terjadi *return stroke* dan peristiwa ini disebut *multiple stoke*.

Sambaran-sambaran di atas dapat di lihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Peristiwa sambaran petir

### 2.2.2 Efek Sambaran Petir

#### 1. Sambaran Tidak Langsung

Muatan induksi yang muncul pada jaringan yang disebabkan oleh sambaran petir ke bumi dan oleh sambaran petir dari awan ke awan. Pada umumnya lompatan api yang ditimbulkan tidak terlalu besar, sehingga bukan merupakan masalah yang serius.

#### 2. Sambaran Langsung

Sambaran dari awan langsung ke jaringan menyebabkan tegangan naik dengan cepat pada daerah sambaran. Daerah yang terkena sambaran dapat terjadi pada tower, kawat petir dan kawat penghantar.

Ketika terjadi sambaran, maka arus akan turun melalui kawat petir dan jika arus petir sangat tinggi, maka akan menyebabkan *flashover* antara tower dengan bumi. Sambaran yang terjadi pada kawat penghantar akan menyebabkan tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat sepanjang saluran. Apabila melebihi

kekuatan isolasi konduktor maka akan terjadi *flashover* antara penghantar dengan *insulator*.

Harga tegangan lebih dan arus akibat sambaran petir tergantung pada besar arus kilat, pembumian netral dari sistem, dan harga tahanan pembumian.

### 2.2.3 Alat Pelindung Petir

Ada dua macam alat pelindung terhadap petir, yaitu:

1. Sela Batang (*rod gap*)

Sela batang merupakan alat pelindung terhadap petir yang paling sederhana sekaligus paling kuat dan kokoh. Tetapi alat ini jarang digunakan pada rangkaian yang penting karena tidak dapat memenuhi persyaratan dasar dari suatu alat pelindung yang sebenarnya. Sela batang ini biasanya digunakan sebagai pelindung cadangan dalam hal arester dilepaskan dari saluran karena kerusakan atau sebab lain.

2. Arester (*Lightning Arrester*).

### 2.3 Arester

Arester adalah alat yang digunakan untuk melindungi peralatan listrik terhadap sambaran petir. Pada keadaan normal, Arester berfungsi sebagai isolator dan apabila terjadi sambaran petir, maka akan melewatkan petir pada elektroda bumi. Setelah petir hilang, Arester harus cepat kembali menjadi isolator sehingga pemutus tenaga (PMT) tidak sempat membuka. Pada keadaan ini arus bocor Arester tidak boleh melebihi 2 mA. Apabila melebihi angka tersebut, berarti kemungkinan besar Arester mengalami kerusakan.



Gambar 2.2 Arester  
(Sumber: [www.toshiba-arrester.com](http://www.toshiba-arrester.com))

Arester terdiri dari dua jenis, yaitu:

- a. Jenis ekspulsi (*expulsion type*)
- b. Jenis katup (*valve type*)

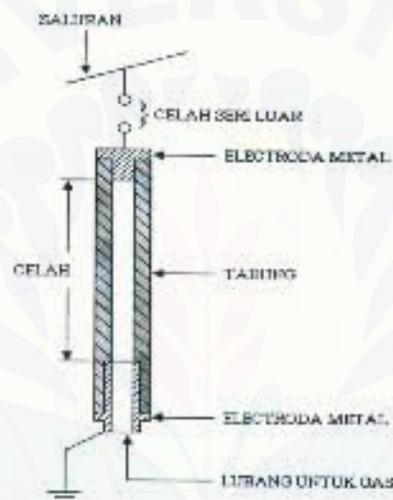
### 2.3.1 Arester Jenis Ekspulsi (*expulsion type*) atau Tabung Pelindung

Arester jenis ini pada prinsipnya terdiri dari sela percik yang berada dalam tabung serat dan sela percik batang yang berada di luar di udara atau disebut sela seri.

Bila ada tegangan surja yang tinggi sampai pada jepitan arester kedua sela percik batang yang berada di dalam tabung serat, tembus seketika dan membentuk jalan pengantar dalam bentuk busur api. Jadi arester menjadi konduktor dengan impedansi rendah dan melakukan surja arus dan arus daya sistem bersama-sama. Panas yang timbul karena mengalirnya arus petir menguapkan sedikit bahan dinding tabung serat, sehingga gas yang ditimbulkannya menyembur pada pada api dan mematikkannya pada waktu arus susulan melewati titik nolnya. Arus susulan

dalam arester jenis ini dapat mencapai harga yang tinggi sekali tetapi lamanya tidak lebih dari satu atau dua gelombang, dan biasanya kurang dari setengah gelombang. Jadi tidak menimbulkan gelombang.

Tegangan percik impuls pada arester jenis ini lebih tinggi dari arester jenis katup. Kemampuan untuk memutuskan arus susulan tergantung dari tingkat arus hubung singkat dari sistem pada titik dimana arester dipasang. Dengan demikian perlindungan dengan arester ini dipandang tidak memadai untuk perlindungan transformator daya, kecuali untuk sistem distribusi.



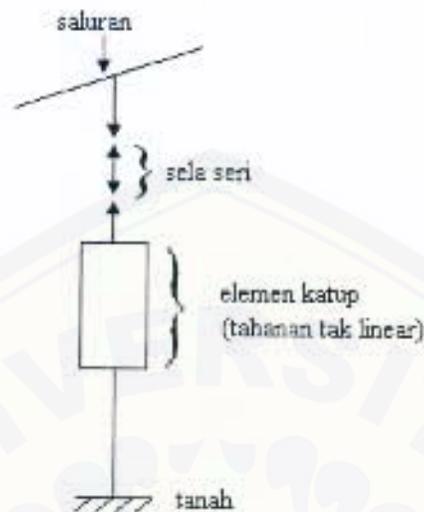
Gambar 2.3 Elemen-elemen arrester jenis ekspulsi  
(Sumber: T.S. Hutauruk, 1989:102)

### 2.3.2 Arester Jenis Katup (*valve type*)

Arester jenis ini terdiri dari sela percik terbagi atau sela seri yang terhubung dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tidak linear.

Tegangan frekuensi dasar tidak dapat menimbulkan tembus pada sela seri. Apabila sela seri tembus pada saat tibanya suatu surja yang cukup tinggi, alat tersebut menjadi penghantar.

Sela seri itu tidak bisa memutuskan arus susulan. Dalam hal ini dia dibantu oleh tahanan tak linear yang mempunyai karakteristik tahanan kecil untuk arus besar dan tahanan besar untuk arus susulan dari frekuensi dasar.



Gambar 2.4 Elemen-elemen arrester jenis katup.  
(Sumber: T.S. Hutauruk, 1989:103)

Arrester jenis katup dibagi dalam 4 (empat) jenis:

1. Arrester Katup Jenis Gardu

Arrester jenis ini adalah jenis yang paling efisien dan juga paling mahal. Umumnya dipakai untuk melindungi alat-alat yang mahal pada rangkaian-rangkaian mulai dari 2,4 kV sampai 287 kV dan lebih tinggi.

2. Arrester Katup Jenis Saluran

Seperti jenis gardu, arrester jenis ini juga dipakai pada gardu induk untuk melindungi peralatan yang kurang penting. Arrester jenis ini dipakai pada sistem dengan tegangan 15 kV sampai 69 kV.

3. Arrester Katup Jenis Gardu untuk Mesin-Mesin

Arrester jenis ini khusus melindungi mesin-mesin berputar. Pemakaiannya untuk tegangan 2,4 kV sampai 15 kV.

4. Arrester Katup Jenis Distribusi untuk Mesin-Mesin

Arrester jenis ini khusus melindungi mesin-mesin berputar seperti pada jenis gardu dan juga untuk melindungi transformator dengan pendinginan udara

tanpa minyak. Arestor ini dipakai peralatan dengan tegangan 120 V sampai 750 V.

### 2.3.3 Pemilihan Arestor

Dalam memilih arester yang sesuai untuk suatu keperluan tertentu, beberapa faktor harus diperhatikan, yaitu:

1. Kebutuhan perlindungan

Ini berhubungan dengan kekuatan isolasi dari alat yang harus dilindungi dan karakteristik impuls dari arester.

2. Tegangan sistem

ialah tegangan maksimum yang mungkin timbul pada jepitan arester.

3. Arus hubung singkat sistem

Ini hanya diperlukan pada arester jenis ekspulsi.

4. Jenis arester

5. Faktor kondisi luar

Apakah normal atau tidak (2.000 meter atau lebih di atas permukaan laut), temperatur dan kelembaban yang tinggi serta pengotoran.

6. Faktor ekonomi

Adalah perbandingan antara ongkos pemeliharaan dan kerusakan bila tidak ada arester, atau bila dipasang arester yang lebih rendah mutunya.

## 2.4 Pembumian (Pengetanahan)

Pembumian merupakan penghubungan suatu titik rangkaian listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkuit listrik dengan bumi menurut cara tertentu.

Tujuan dari pembumian adalah:

1. Pada sistem tenaga besar yang tidak diketanahkan arus gangguan relatif besar ( $> 5 \text{ A}$ ) sehingga busur listrik yang timbul tidak dapat padam sendiri, di mana akan menimbulkan busur tanah dengan pada sistem yang diketanahkan gejala tersebut hampir tidak terjadi

2. Untuk membatasi tegangan pada fasa-fasa yang tidak terganggu.

Mengingat pentingnya sistem pengetanahan dalam suatu instalasi listrik maupun peralatan listrik, dengan tujuan agar tercapai keandalan sistem dalam penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai konsumen disamping keselamatan peralatan terpasang dan keselamatan jiwa manusianya adalah sebagai berikut :

1. Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah tersebut
2. Memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan.

#### 2.4.1 Pemilihan Metode Pengetanahan

Pemilihan metode pengetanahan tergantung dari : segi praktis, menjaga kontinuitas sistem, memperkecil gangguan yang lebih besar, dan kompromi keseimbangan antara arus dan tegangan. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan metode pengetanahan. harus diperhatikan dalam pemilihan metode pengetanahan dari suatu sistem tenaga, ialah:

- Selektivitas dan sensitivitas dari rele gangguan tanah.
- Pembatasan besar arus gangguan tanah.
- Tingkat pengamanan terhadap tegangan surja dengan arester.
- Pembatasan tegangan lebih transien.

Faktor di atas mempunyai pengaruh yang besar terhadap ke ekonomisan sistem, perencanaan serta tata letak dari sistem dan kontinuitas pelayanan.

Metode-metode pengetanahan netral dari sistem-sistem tenaga adalah :

- Pengetanahan melalui tahanan (*resistance grounding*)
- Pengetanahan melalui reaktor (*reactor grounding*)
- Pengetanahan tanpa impedansi/langsung (*solid grounding*)
- Pengetanahan efektif (*effective grounding*)

### 1. Pengetanahan dengan Tahanan

Sistem pengetanahan melalui tahanan pernah diterapkan pada sistem 230 kV. Sistem ini mempunyai tegangan lebih transien yang disebabkan oleh pemutusan relatif rendah. Maksud pengetanahan ini adalah untuk membatasi arus gangguan ke tanah antara 10 % sampai 25 % dari arus gangguan 3 fasa.

Batas yang paling bawah adalah batas minimum untuk dapat bekerjanya rele gangguan tanah, sedangkan batas atas adalah untuk membatasi banyaknya panas yang hilang pada waktu terjadi gangguan. Sistem pengetanahan melalui tahanan ini sekarang jarang digunakan pada jaringan transmisi tetapi dipakai pada sistem distribusi, sebagai gantinya adalah penggunaan reactor.

### 2. Pengetanahan dengan Reaktor dan Efektif

Reaktor pengetanahan ini digunakan bila trafo daya tidak cukup membatasi arus gangguan tanah. Pengetanahan ini digunakan untuk memenuhi persyaratan dari sistem yang diketanahkan dengan pengetanahan ini, besarnya arus gangguan ketanah di atas 25 % dari arus gangguan 3 fasa.

Keuntungannya dengan mengetanahkan trafo daya adalah untuk menekan tegangan lebih transien, sehingga trafo daya dapat menggunakan isolasi dan tipe arrester yang lebih kecil dan mengurangi penggunaan metode pengetanahan dengan reaktor, terutama untuk sistem-sistem di atas 115 kV.

### 3. Pengetanahan Tanpa Impedansi atau Langsung

Pengetanahan ini ialah apabila titik netral trafo kita hubungkan langsung ketanah, pada system ini bila terjadi gangguan kawat ketanah akan mengakibatkan terganggunya kawat dan gangguan ini harus diisolasi dengan pemutus Pemutus daya (PMT/CB). Tujuannya untuk mentanahkan titik netral secara langsung dan membatasi kenaikan tegangan dari fasa yang tidak terganggu. digunakan pada sistem dengan tegangan 20 kV.

Sistem ini mengandalkan nilai besarnya tahanan pengetanahan (makin kecil tahanan pengetanahan makin baik) yang dipengaruhi oleh bahan dari elektroda pengetanahannya.

#### 2.4.2 Komponen Utama Sistem Pengetanahan

Dalam sistem pentanahan komponen komponen utama yang diperlukan antara lain elektroda pentanahan dan hantaran pentanahan berperan sangat besar. Elektroda Pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam tanah dan sebagai kontak langsung dengan tanah yang diusahakan sampai mencapai titik air tanah. Bahan elektroda pentanahan ialah tembaga atau baja profil digalvanisir atau pipa galvanis, sedangkan ukuran dan jenis elektroda pentanahan bermacam-macam tergantung dari lokasi dan metode pentanahannya. Jenis elektroda pentanahan antara lain :

##### 1. Elektroda Batang / Pasak (*rod*)

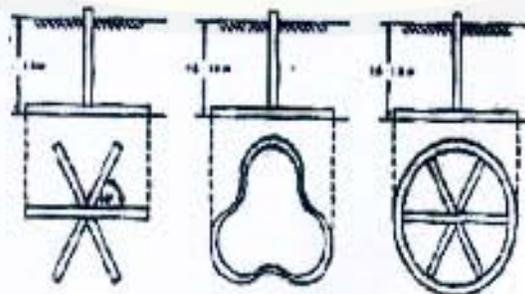
Yaitu elektroda dari batang logam tembaga Cu (*Copper Rod/Ground Rod*) berdiameter minimum 5/8", atau batang logam baja profil/pipa galvanis berdiameter 1,5" yang dipancangkan tegak dalam tanah sedalam 2,75 meter.



Gambar 2.5 Elektroda Batang

##### 2. Elektroda Pita (*strip plat*)

Yang dibentuk lingkaran ditanam minimum 0,5 – 1m dari permukaan tanah.



Gambar 2.6 Elektroda Pita

Elektroda pita jenis ini terbuat dari bahan metal berbentuk pita atau juga kawat BCC yang di tanam di dalam tanah secara horizontal sedalam  $\pm 2$  feet. Elektroda pita ini bisa dipasang pada struktur tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak mengalami kekeringan.

Elektroda jenis ini cocok untuk daerah - daerah pegunungan dimana harga tahanan jenis tanah makin tinggi dengan kedalaman.

### 3. Elektroda Plat

Ditanam minimum 50 cm dari permukaan tanah. Bentuk elektroda pelat biasanya empat persegi atau empat persegi panjang yang terbuat dari tembaga, timah atau pelat baja yang ditanam didalam tanah. Cara penanaman biasanya secara vertical, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertical. Penanaman secara vertical adalah lebih praktis dan ekonomis.



Gambar 2.7 Elektroda Pelat

### 4. Elektroda Jembatan (*mesh/grounding bridge*)

Dibuat dari strip plat yang dirangkai menyerupai jembatan biasanya dipasang dibawah tower transmisi.



Gambar 2.8 Elektroda Jembatan

Hantaran pentanahan yaitu hantaran sebagai penyalur arus, harus jenis penghantar yang baik, kuat secara mekanis dan dilindungi untuk menjaga kemungkinan gangguan mekanis yang dapat menyebabkan turunnya daya hantar ataupun terputus.

Satu hal yang sangat perlu diperhatikan dalam pemasangan sistem pentanahan adalah cara penyambungan / kontak sambung. Penyambungan harus baik dan benar sehingga memenuhi persyaratan mekanis maupun daya hantar listriknya, sambungan harus dapat dibuka dalam rangka pengujian besarnya tahanan pentanahan dan pemeliharaan.

## 2.5 Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah merupakan salah satu faktor yang mutlak diketahui karena mempunyai kaitan erat dengan perencanaan dan sistem pentanahan yang akan digunakan. Sesuai dengan tujuan pentanahan bahwa arus gangguan harus secepatnya terdistribusi secara merata ke dalam tanah, maka penyelidikan tentang karakteristik tanah sehubungan dengan pengukuran tahanan dan tahanan jenis tanah merupakan faktor penting yang sangat mempengaruhi besarnya tahanan pentanahan. Pada kenyataannya tahanan jenis tanah harganya bermacam-macam, tergantung pada komposisi tanahnya dan faktor faktor lain.

Pada suatu lokasi tertentu sering dijumpai beberapa jenis tanah yang mempunyai tahanan jenis yang berbeda-beda (*non-niform*). Pada pemasangan sistem

pentanahan dalam suatu lokasi *lightning arrester*, tidak jarang peralatan pentanahan tersebut ditanam pada dua atau lebih lapisan tanah yang berbeda yang berarti bahwa tahanan jenis tanah di tempat itu tidak sama. Apabila lapisan tanah pertama dari sistem pentanahan mempunyai tahanan jenis sebesar  $\rho_1$  sedangkan lapisan bawahnya dengan tahanan jenisnya adalah  $\rho_2$ , maka diperoleh faktor refleksi  $K$  seperti pada persamaan :

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dari persamaan di atas memungkinkan faktor refleksi  $K$  berharga positif atau negatif.

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tahanan jenis tanah antara lain: Pengaruh temperatur, pengaruh gradien tegangan, pengaruh besarnya arus, pengaruh kandungan air dan pengaruh kandungan bahan kimia. Pada sistem pengetanahan yang tidak mungkin atau tidak perlu untuk ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, variasi tahanan jenis tanah sangat besar. Kadangkala pada penanaman elektroda memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi, untuk hal seperti ini harga tahanan jenis tanah harus diambil dari keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin. Berdasarkan harga inilah dibuat suatu perencanaan pengetanahan.

Nilai tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) sangat tergantung pada tahanan tanah ( $R$ ) dan jarak antara elektroda-elektroda yang digunakan pada waktu pengukuran. Pengukuran perlu dilakukan pada beberapa tempat yang berbeda guna memperoleh nilai rata-ratanya. Tahanan jenis rata-rata dari dua lapis tanah menurut IEEE standar 81 dimodelkan sebagai berikut : ([www.elcktroindonesia.com](http://www.elcktroindonesia.com))

$$Rho_{av} = \rho l \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{d} \left[ \frac{2a}{\sqrt{1 + (2nH/a)^2}} - \frac{a}{\sqrt{1 + (2nH/a)^2}} \right] \right\} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan:

- $Rho_{av}$  : tahanan jenis rata-rata dua lapis tanah (Ohm-m)
- $\rho_1$  : tahanan jenis tanah lapisan pertama (Ohm-m)
- $a$  : jarak antara elektroda (meter)
- $h$  : ketebalan lapisan tanah bagian pertama (meter)
- $K$  : koefesien refleksi
- $d$  : diameter elektroda (meter)
- $n$  : jumlah pengamatan (sampel) tiap lapisan tanah yang diamati

Perbedaan tahanan jenis tanah akibat iklim biasanya terbatas sampai kedalaman beberapa meter dari permukaan tanah, selanjutnya pada bagian yang lebih dalam secara praktis akan konstan.

## 2.6 Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara pengetanahan dan kapasitansi di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang dipresentasikan dengan  $\rho$ . harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor yaitu:

- a. Jenis tanah : tanah liat, berpasir, berbatu, dan lain-lain.
- b. Lapisan tanah : berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau *uniform*.
- c. Kelembaban tanah.
- d. Temperatur.

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 Ohm per  $cm^3$ . kadangkala harga ini dinyatakan dalam Ohm-cm. Pernyataan Ohm-cm merepresentasikan tahanan di antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah yang berisi 1  $cm^3$ .

Sering dicoba untuk mengubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pengetanahan dengan maksud mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya enam bulan sekali.

Dengan memberi air atau membasahi tanah juga mengubah tahanan jenis tanah. Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangat tergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan tahanan jenis rata-rata untuk keperluan perencanaan maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu misalnya selama satu tahun. Biasanya tahanan tanah juga tergantung dari tingginya permukaan tanah dari permukaan air yang konstan.

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pengetanahan dapat dilakukan dengan menanamkan elektroda pengetanahan sampai mencapai kedalaman di mana terdapat air tanah yang konstan. Pada sistem pengetanahan yang tidak mungkin atau tidak perlu untuk ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, variasi tahanan jenis tanah sangat besar. Karena kadang kala penanaman memungkinkan kelembaban dan temperatur yang bervariasi, harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin.

Setelah diperoleh harga tahanan jenis tanah, dan biasanya diambil harga yang tertinggi, maka berdasarkan harga tahanan jenis tanah tersebut dibuat perencanaan pengetanahan. (T.S. Hutaeruk, 1999:141-142)

Tabel 2.1 Tahanan berbagai jenis tanah berdasarkan PUIL, 2000

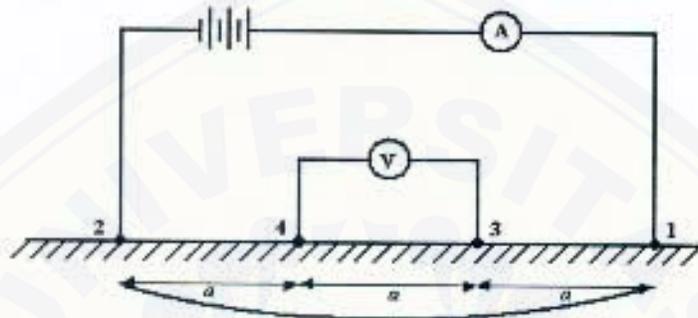
No.	Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (ohm-meter)
1	Tanah rawa	30
2	Tanah liat dan tanah lading	100
3	Pasir basah	200
4	Kerikil basah	500
5	Pasir dan kerikil kering	1000
6	Tanah berbatu	3000

### 2.6.1 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Ada dua metode untuk melakukan tahanan jenis tanah, yaitu:

#### 1. Metode empat elektroda (*four electrode method*)

Metode ini menggunakan empat elektroda, sebuah batere sebuah ampere-meter, dan sebuah voltmeter yang sensitif.



Gambar 2.9 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode empat elektroda.  
(Sumber: T.S. Hutaeruk, 1999:142)

Jadi, tahanan jenis tanah dapat dirumuskan:

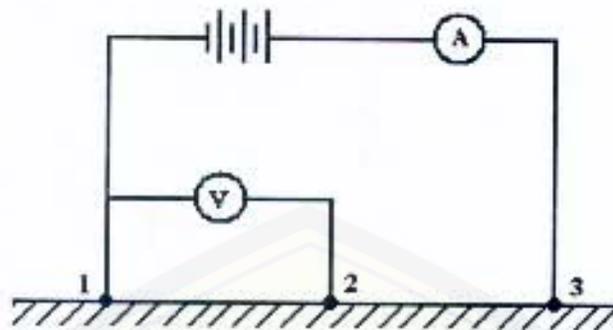
$$\rho = 2\pi a R_{34} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

- $\rho$  : tahanan jenis tanah (Ohm-m)
- $a$  : jarak antar elektroda (m)
- $R_{34}$  : tahanan antara elektroda 3 dan 4 (Ohm)

#### 2. Metode tiga titik (*three-point method*)

Metode ini dimaksudkan untuk mengukur tahanan pengetanahan. Misalkan tiga buah batang pengetanahan di mana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang 2 dan 3 sebagai batang pengetanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya.



Gambar 2.10 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode tiga titik.  
(Sumber: T.S. Hutaeruk, 1999:144)

Bila tahanan di antara tiap-tiap batang pengetanahan diukur dengan arus konstan, tiap pengukuran dapat ditulis sebagai berikut:

$$R_{1-2} = \frac{V_{1-2}}{I} = R_{11} + R_{22} - 2R_{12}$$

$$R_{1-3} = \frac{V_{1-3}}{I} = R_{11} + R_{33} - 2R_{13}$$

$$R_{2-3} = \frac{V_{2-3}}{I} = R_{22} + R_{33} - 2R_{23}$$

$$\frac{V_{1-2} + V_{1-3} - V_{2-3}}{I} = 2R_{11} - 2R_{12} - 2R_{13} + 2R_{23}$$

Tetapi,

$$V_{1-3} = V_{1-2} + V_{2-3}$$

Jadi:

$$R = \frac{V_{1-2}}{I} = R_{11} - R_{12} - R_{13} + R_{23}$$

Sehingga:

$$R_{11} = R + R_{12} + R_{13} - R_{23} \dots\dots\dots (2.4)$$

Tahanan batang pengetanahan dari elektroda 1 diberikan oleh persamaan (4) jika kita dapat membuat:

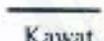
$$R_{12} + R_{13} - R_{23} = 0 \dots\dots\dots (2.5)$$

Keadaan ini dapat diperoleh dengan mengatur posisi elektroda 2 sehingga persamaan (5) dipenuhi.

## 2.7 Tahanan Pengetanahan

Berikut adalah tabel rumus pendekatan untuk menghitung tahanan dari beberapa jenis elektroda bumi.

Tabel 2.2 Rumus Tahanan Tanah Pada Jenis-jenis Elektroda

No.	Jenis Elektroda	Rumus
1	 Satu batang tanah. Panjang $L$ , radius $a$	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
2	 Dua batang tanah. $s > L$ ; jarak $s$	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
3	 Dua batang tanah. $S < L$ ; jarak $s$	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
4	 Kawat horizontal. Panjang $2L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
5	 Kawat siku-siku. Panjang $2L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0,2373 + 0,2146 \frac{s}{L} + 0,1035 \frac{s^2}{L^2} - 0,0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$

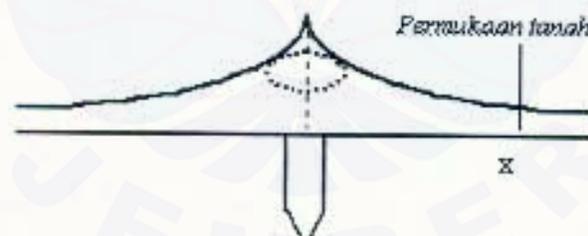
No.	Jenis Elektroda	Rumus
6	 Tiga titik bintang. Panjang $2L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 1,071 - 0,209 \frac{s}{L} + 0,238 \frac{s^2}{L^2} - 0,054 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
7	 Empat titik bintang. Panjang $2L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2,912 - 0,071 \frac{s}{L} + 0,645 \frac{s^2}{L^2} - 0,145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
8	 Enam titik bintang. Panjang $2L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 6,851 - 3,128 \frac{s}{L} + 1,758 \frac{s^2}{L^2} - 0,490 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
9	 Delapan titik bintang. Panjang $2L$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 10,98 - 5,51 \frac{s}{L} + 3,26 \frac{s^2}{L^2} - 1,17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
10	 Cicin kawat, diam, cicin $D$ , diam kawat $R$ $d$ dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left( \ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
11	 Pelat horizontal Panjang $2L$ , $a$ dan $b$ dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$

No.	Jenis Elektroda	Rumus
12	 Pelat bundar horizontal Radius $a$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi} \left( 1 - \frac{7a^2}{12s^2} + \frac{33a^4}{40s^4} \dots \right)$
13	 Pelat bundar vertical. Radius $a$ , dalam $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi} \left( 1 - \frac{7a^2}{24s^2} + \frac{99a^4}{320s^4} \dots \right)$

(Sumber: T.S. Hutaaruk, 1999:145)

## 2.8 Elektroda Batang (Rod)

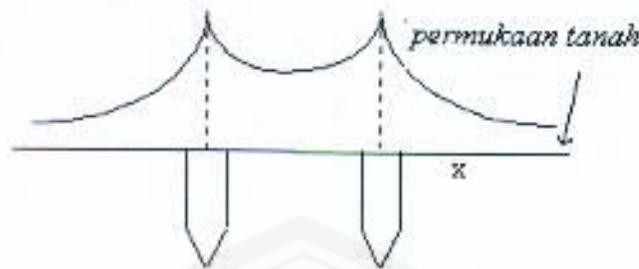
Di bawah ini diperlihatkan distribusi tegangan yang terjadi untuk satu batang elektroda dan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah, dimana arus kesalahan mengalir dari elektroda tersebut ke tanah sekitarnya.



Gambar 2.11 Distribusi tegangan sekitar satu batang elektroda  
 (Sumber: [www.elektroindonesia.com](http://www.elektroindonesia.com))

dimana  $U_x$  : tegangan elektroda pentanahan atau tegangan antara elektroda dengan tanah

$x$  : jarak dari elektroda



Gambar 2.12 Distribusi tegangan sekitar dua batang elektroda  
(Sumber: [www.elektroindonesia.com](http://www.elektroindonesia.com))

Dengan demikian untuk jumlah elektroda yang lebih banyak yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah maka tahanan pentanahan semakin kecil dan distribusi tegangan akan lebih merata.

#### 2.8.1 Satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah

Dari suatu konduktor terdapat hubungan antara tahanan dan kapasitansi sebesar :

$$R = \frac{\rho}{2\pi C} \dots\dots\dots (2.6)$$

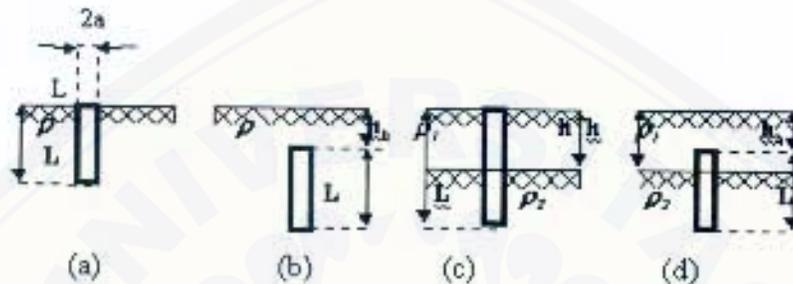
dengan:

- $R$  : tahanan (Ohm)
- $\rho$  : tahanan jenis tanah tiap lapisan (Ohm-m)
- $C$  : kapasitansi (statt Farad)

Kapasitansi ini termasuk kapasitansi dari bayangan konduktor yang ditanam ke dalam tanah. Pada gambar 12 satu batang elektroda berbentuk silinder dengan panjang  $L$  yang ditanam tegak lurus permukaan tanah berdiameter  $2a$ , dengan bayangan di atas permukaan tanah. Dalam persoalan pentanahan, elektroda pentanahan merupakan bahan penghantar yang membawa muatan listrik yang terdistribusi (menyebar) disekeliling elektroda pentanahan. Dengan cara seperti ini potensial di setiap tempat pada permukaan elektroda akan sama. Bila pada elektroda tersebut diberikan suatu muatan yang merata, maka kapasitansi dapat dihitung dengan metode potensial rata rata. Hasil yang didapatkan untuk satu batang elektroda

berbentuk selinder yang ditanam seluruhnya di dalam tanah dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.7)$$



Gambar 2.13 Satu batang elektroda tegak lurus ke dalam tanah  
(Sumber: [www.elektroindonesia.com](http://www.elektroindonesia.com))

Maka tahanan dari satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus permukaan tanah, di dapat dengan mensubstitusikan persamaan (7) ke dalam persamaan (6) sehingga diperoleh persamaan untuk gambar (2.12.a) sbb:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.8)$$

Untuk elektroda batang yang ditanam tegak lurus dan pada kedalaman beberapa cm di bawah permukaan tanah (gambar 2.12.b) berlaku hubungan:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{2L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk gambar (2.12.c) satu batang elektroda tegak lurus kedalam tanah, dan menembus lapisan kedua tanah tersebut. Hal ini berlaku persamaan :

$$R = \frac{\rho l}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

Untuk gambar (2.12.d) satu batang elektroda tegak lurus kedalam tanah, pada kedalaman beberapa cm di bawah permukaan tanah dan menembus lapisan kedua tanah tersebut. Hal ini berlaku persamaan :

$$R = \frac{\rho l}{2\pi(h-h_b)} \left[ \ln \left( \frac{2L}{a} \right) - 1 + \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4 \ln 2)h_b}{L}} \right] + \frac{\rho l}{h} \phi_0 \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\phi_0 = \frac{\frac{1}{2\pi} \left( \ln \frac{1}{1-K} \right)}{\sqrt{\left( \frac{N}{F_0} - 1 \right)^2 + 1}} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$F_0 = \frac{L}{(1-0,9K)} \dots\dots\dots (2.13)$$

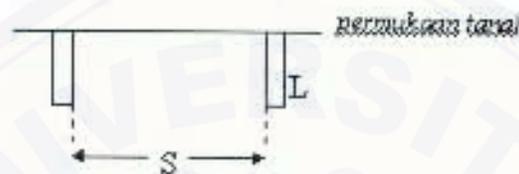
dengan :

- $R$  : tahanan untuk satu batang elektroda yang ditanam tegak lurus permukaan tanah (Ohm)
- $L$  : panjang elektroda batang (cm)
- $a$  : jari-jari batang elektroda (cm)
- $\rho$  : tahanan jenis tanah rata-rata (Ohm per  $\text{cm}^3$ )  
(indeks 1 atau 2 menunjukkan lapisan tanah)
- $h_b$  : kedalaman penanaman elektroda (cm)

## 2.8.2 Dua batang elektroda tegak lurus ke dalam tanah

Susunan dari dua batang elektroda berbentuk selinder dengan panjang  $L$  yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah dengan jarak antara ke dua elektroda tersebut sebesar  $s$  terlihat pada gambar di bawah. Nilai tahanan pentanahan dan tahanan jenis tanah yang relatif tinggi, maka untuk menguranginya dengan cara menanamkan

batang-batang elektroda pentanahan dalam jumlah yang cukup banyak. Dengan menghitung tegangan rata-rata yang disebabkan oleh muatan batang elektroda itu sendiri dan menghitung tegangan rata-rata yang disebabkan oleh muatan batang elektroda yang lain. Tegangan total rata-rata diperoleh dengan menjumlahkan antara keduanya.



Gambar 2.14 Dua batang elektroda tegak lurus ke dalam tanah  
(Sumber: [www.elektroindonesia.com](http://www.elektroindonesia.com))

Rumus tahanan pentanahan untuk dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah adalah:

untuk  $s > L$

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right) \dots \dots \dots (2.14)$$

untuk  $s < L$

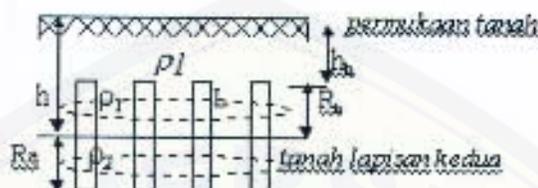
$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right) \dots \dots \dots (2.15)$$

dimana :  $s$  : jarak antara kedua elektroda (meter)

### 2.8.3 Beberapa batang elektroda (*Multiple-Rod*) yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah

Jika susunan batang - batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah dalam jumlah yang lebih banyak, maka tahanan pentanahan akan semakin kecil dan distribusi tegangan pada permukaan tanah akan lebih merata. Penanaman

elektroda yang tegak lurus ke dalam tanah dapat berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang dengan jarak antara batang elektroda pentanahan adalah sama seperti pada dalam gambar berikut :



Gambar 2.15 Beberapa batang elektroda tegak lurus ke dalam tanah (Sumber: [www.elektroindonesia.com](http://www.elektroindonesia.com))

Nilai tahanan pentanahan untuk beberapa batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah di mana rod menembus lapisan tanah paling bawah/ke dua, dihitung dengan mengikuti persamaan berikut:

$$(0 \leq h \leq L + h_b)$$

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b}} \dots\dots\dots (2.16)$$

dimana  $R_t$  adalah tahanan elektroda batang (rod)

$$R_a = \frac{\rho_2}{(L + h_b - h)} g_0 \frac{F_0}{N} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$R_b = \frac{\rho_1}{(h - h_b)} g_0 \frac{F_0}{N} + \frac{\rho_1}{h} \phi_0 \dots\dots\dots (2.18)$$

$$g_0 = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \frac{2L}{a} - 1 + \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4 \ln 2) h_b}{L}} \right] \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan :

$N$ : jumlah batang rod

$R_a$  dan  $R_b$  (tahanan berdasarkan posisi elektroda (gambar 2.15))

### BAB 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Pengukuran pada penelitian skripsi ini dilakukan pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 7 Januari 2009

Tempat : PT PLN (Persero) GI Jember

#### 3.2 Tahapan Penelitian

Secara garis besar penelitian pembahasan dalam skripsi ini melalui beberapa tahap, yaitu:

1. Tahap identifikasi awal
2. Tahap pengumpulan data
3. Tahap pengolahan data
4. Tahap analisa data
5. Tahap kesimpulan

#### 3.3 Pengumpulan Data

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang diperoleh secara langsung dari PT PLN (Persero) UPT Jember.

Adapun data yang diperoleh dari hasil penelitian adalah:

##### 1. Data Elektroda Bumi

- Jenis elektroda : Elektroda batang
- Panjang tiap elektroda ( $L$ ) : 275 cm
- Jumlah elektroda : 2 batang
- Jari-jari elektroda ( $a$ ) : 0,472 cm

- Ketebalan lapisan tanah bagian atas ( $h$ ) : 350 cm
  - Kedalaman penanaman ( $h_b$ ) : 50 cm
  - Kondisi tanah : Kerikil berpasir dan kering
  - Cuaca : Panas
2. Data Teknis Arester
- a. Arah Bondowoso-1
- Merek Arester : TOSHIBA
  - Type : RVLQC - 162VY
  - Nomor Seri : 029 81606
- b. Arah Bondowoso-2
- Merek Arester : ABB
  - Type : EXLIM R150 - AH170
  - Nomor Seri : 822 3594

### 3.4 Metode Pengambilan Data

Ada 2 (dua) macam metode pengambilan data yang dilakukan oleh peneliti, yaitu:

#### 1. Metode Wawancara (*Interview*)

Penggunaan panduan wawancara berfungsi untuk memperoleh data yang diperlukan. Wawancara ditujukan kepada para instruktur yang ada di PT PLN (Persero) UPT Jember.

#### 2. Pengukuran di Lapangan

Pengukuran dilakukan di dua tempat yaitu pada arester arah Bondowoso-1 dan Bondowoso-2. Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data nilai tahanan tanah. Pada pengukuran ini digunakan alat *Earth Tester* merek Kyoritsu 4105A. Langkah pengukuran, yang pertama yaitu mengukur tahanan tanah pada tiap Line

sebelum ditambahkan batang elektroda 2 batang. Kedua, pengukuran dilakukan pada saat penambahan batang elektroda yaitu dengan cara me-maralel sistem pengetanahan pada Line yang satu dengan Line yang sebelahnya sehingga elektroda yang ditanam menjadi 4 batang.



Gambar 3.1 Pengukuran di lapangan

### 3. Studi Literatur

Yaitu studi kepustakaan yang berkaitan erat dengan masalah yang diangkat. Baik yang berasal dari buku-buku, jurnal, maupun yang berasal dari internet.

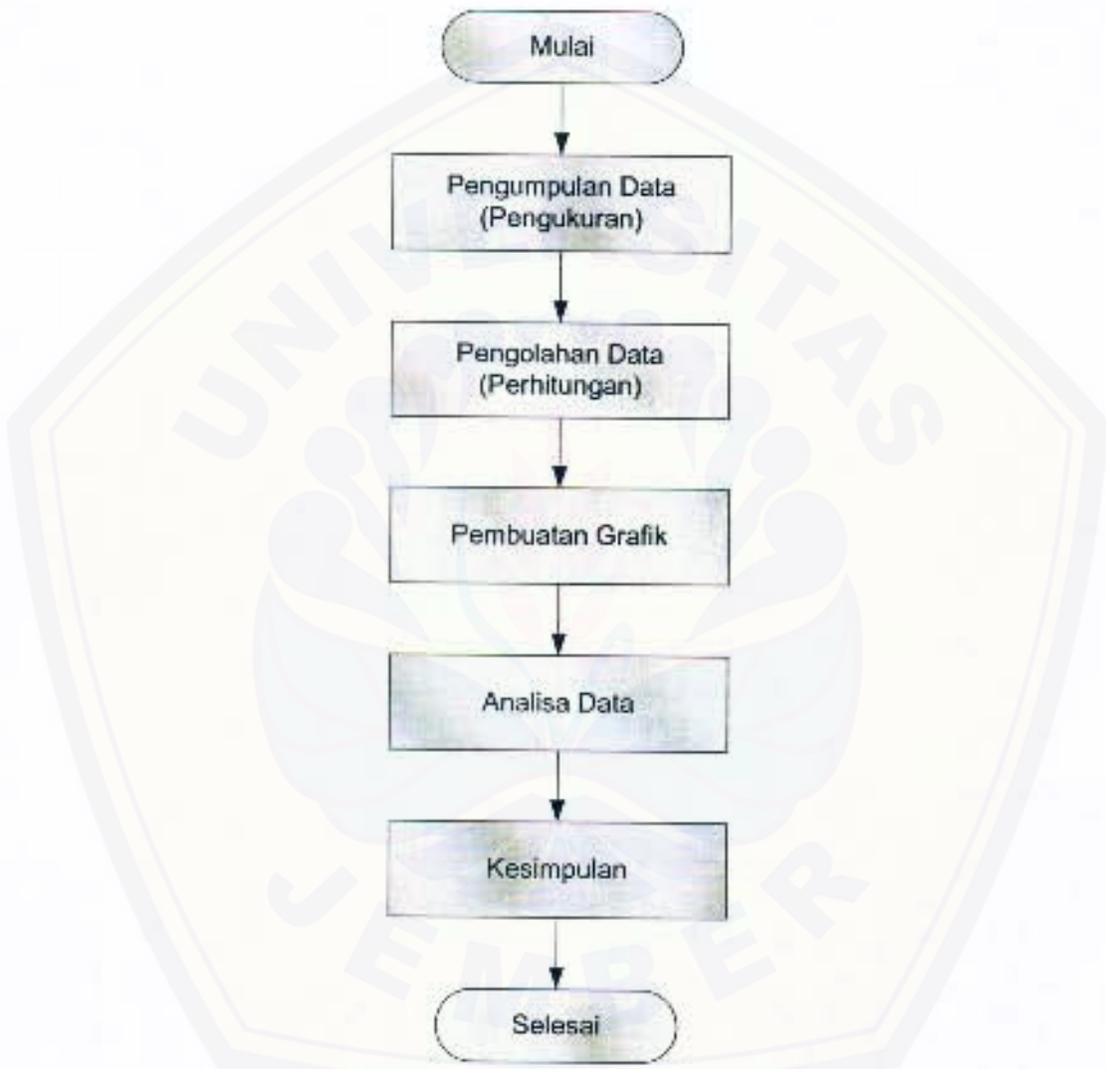
### 3.5 Tahapan Pengolahan Data Perhitungan

Tahapan dalam pengolahan data (perhitungan) dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

- Perhitungan untuk 2 batang elektroda
- Perhitungan untuk 4 batang elektroda
- Perhitungan Error %, untuk membandingkan kesalahan hasil pengukuran dengan hasil perhitungan

- Pembuatan grafik perbandingan hasil perhitungan dengan hasil pengukuran

### 3.6 Diagram Alir Kerja Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alur Kerja Penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Penambahan batang pengetanahan dalam pembahasan skripsi ini adalah dengan paralel sistem pengetanahan pada satu Line dengan Line disebelahnya. Sehingga batang pengetanahan menjadi 4 batang.
2. Penambahan batang elektroda dari 2 batang menjadi 4 batang diperoleh nilai tahanan tanah hasil perhitungan adalah sebesar 1,4 ohm.
3. Error % yang dihasilkan pada perhitungan adalah sangat besar. Hal ini mungkin terjadi akibat kesalahan pada waktu pengukuran atau dikarenakan faktor alam.

### 5.2 Saran

Dari perencanaan penambahan batang ini, untuk mengetahui secara ekonomis dan tingkat optimasi proteksi arester terhadap gangguan petir diharapkan adanya penelitian lanjutan.

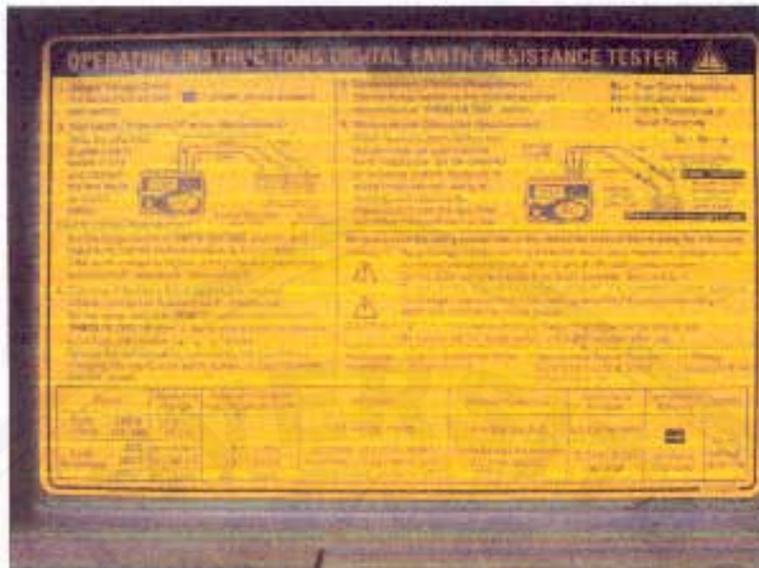
## DAFTAR BACAAN

- Arismunandar, A., Kuwahara, S.1997. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid III Gardu Induk*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Arismunandar, Artono, Prof., Dr. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Hutauruk, T.S.1989. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hutauruk, T.S.1999. *Pengetanahan Netral Sistem tenaga & Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: graha Ilmu.
- Stevenson,Jr., William D. 1983. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [prihastomo.files.wordpress.com](http://prihastomo.files.wordpress.com)
- [www.elektroindonesia.com](http://www.elektroindonesia.com)
- [www.kew-ltd.co.jp](http://www.kew-ltd.co.jp)
- [www.petir.com](http://www.petir.com)
- [www.toshiba-arrester.com](http://www.toshiba-arrester.com)

LAMPIRAN

Lampiran A. Dokumentasi Pengukuran di Lapangan









**PT PLN (PERSERO)**  
**PENYALURAN DAN PUSAT PENGATUR BEBAN JAWA BALI**  
**REGION JAWA TIMUR & BALI**

Jalan Suringrat No. 45 Taman Sidoarjo 61257

Telepon : (031) 7882113, 7882114

Faksimile : (031) 7882579, 7881024

Website : www.pln-jawa-bali.co.id

Kotak Pos : 4119 S8S

E-mail : region4@pln-jawa-bali.co.id

Nomor : 158 /330/ RJTB/ 2008

31 Juli 2008

Surat Sdr No : 1745/H.25.1.11.1/PS 8/2008

Lampiran : 1 (satu) lampiran

Perihal : Ijin Survey / Penelitian

Kepada Yth.

UNIVERSITAS JEMBER

FAKULTAS TEKNIK

DI

JEMBER

Menunjuk surat Saudara nomor : 1745/H.25.1.11.1/PS 8/2008 tanggal : 11 Juli 2008 perihal : Permohonan Ijin Survey / Penelitian, dengan ini diberitahukan bahwa kami tidak keberatan untuk memberikan ijin kepada Mahasiswa Saudara, bernama :

- Royatul Hosnan

NIM. 04-1043

Untuk melakukan Survey / Penelitian pada PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali UPT Jember Gi Jember dengan persyaratan sebagai berikut :

1. Mahasiswa tersebut diatas supaya mengisi dan menanda tangani Surat Pernyataan 1 (satu) lembar bermeterai Rp. 6.000,-
2. Mahasiswa yang bersangkutan agar mematuhi peraturan/ketentuan yang berlaku di PT. PLN (PERSERO); sehingga faktor-faktor kerahasiaan harus benar benar diutamakan
3. Semua biaya perjalanan, penginapan, makan dan lain sebagainya tidak menjadi tanggungan PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali
4. Buku Laporan Kerja Praktek Mahasiswa tersebut agar dikinmikan kepada PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali 1 (satu) buah
5. Untuk informasi lebih lanjut dapat menghubungi PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali Cq. Bidang SDM & ADMINISTRASI

Demikian harap maklum dan terima kasih atas perhatian saudara



Tembusan Yth.:

1. MBSDM PLN P3B JB
2. M.UPT Jember PLN P3B RJTB
3. Sdr. Royatul Hosnan



DATA PERALATAN LIGHTNING ARESTER (LA)

No	Lokasi GI	Arah	MERK	TYPE	NO. SERI	ITH	TEGANGAN	TAHUN	KETERANGAN
1	4JEMBER	LMJUNG-1	TOSHIBA	RVLOC - 162VY	2981620	10 kA	162 kV 50 Hz	1983/1997	
2	4JEMBER	LMJUNG-1	TOSHIBA	RVLOC - 162VY	2981621	10 kA	162 kV 50 Hz	1983/1997	
3	4JEMBER	LMJUNG-1	TOSHIBA	RVLOC - 162VY	2981622	10 kA	162 kV 50 Hz	1983/1997	
4	4JEMBER	TNGUL-1	MEIDENSHA	ZS - B	B.8001248	10 kA	154 kV 50 Hz	2002/2003	
5	4JEMBER	TNGUL-1	MEIDENSHA	ZS - B	B.8001249	10 kA	154 kV 50 Hz	2002/2003	
6	4JEMBER	TNGUL-1	MEIDENSHA	ZS - B	B.8001250	10 kA	154 kV 50 Hz	2002/2003	
7	4JEMBER	BWNGI-1	MEIDENSHA	ZS - B	B.801261 G	10 kA	154 kV 50 Hz		
8	4JEMBER	BWNGI-1	MEIDENSHA	ZS - B	B.801280 G	10 kA	154 kV 50 Hz		
9	4JEMBER	BWNGI-1	MEIDENSHA	ZS - B	B.801259 G	10 kA	154 kV 50 Hz		
10	4JEMBER	GTENG-1	TOSHIBA	RVLOC - 162VY	2981609	10 kA	162 kV 50 Hz	2002/2003	
11	4JEMBER	GTENG-1	TOSHIBA	RVLOC - 162VY	2981609	10 kA	162 kV 50 Hz	2002/2003	
12	4JEMBER	GTENG-1	TOSHIBA	RVLOC - 162VY	2981610	10 kA	162 kV 50 Hz	2002/2003	
13	4JEMBER	BNDWS-1	TOSHIBA	RVLOC - 162VY	029.81605	10 kA	162 kV 50 Hz	2002/2003	
14	4JEMBER	BNDWS-1	TOSHIBA	RVLOC - 162VY	029.81606	10 kA	162 kV 50 Hz	2002/2003	
15	4JEMBER	BNDWS-1	TOSHIBA	RVLOC - 162VY	029.81607	10 kA	162 kV 50 Hz	2002/2003	
16	4JEMBER	BNDWS-2	ABB	EXLIM R150 - AH170	822.3594	10	150 kV 50 Hz	1995/1997	
17	4JEMBER	BNDWS-2	ABB	EXLIM R150 - AH170	822.3596	10	150 kV 50 Hz	1985/1997	
18	4JEMBER	BNDWS-2	ABB	EXLIM R150 - AH170	822.3595	10	150 kV 50 Hz	1995/1997	
19	4JEMBER	BUS KOPEL	-	-	-	-	-	-	
20	4JEMBER	BUS A	-	-	-	-	-	-	
21	4JEMBER	BUS B	-	-	-	-	-	-	
22	4JEMBER	TR1 50	MEIDENSHA	ZS - B JEG - 203	B.801284 G	10 kA	154 kV 50 Hz	1980/1982	
23	4JEMBER	BUS A	MEIDENSHA	ZS - B JEG - 203	B.801255 G	10 kA	154 kV 50 Hz	1980/1982	
24	4JEMBER	BUS B	MEIDENSHA	ZS - B JEG - 203	B.801256 G	10 kA	154 kV 50 Hz	1980/1982	
25	4JEMBER	TR2 20	BOWTHORPE	2MB.150	J.55017,27,28	10 kA	150 kV 50 Hz	1990/1992	
26	4JEMBER	BUS A	BOWTHORPE	2MB.150	J.55017,27,28	10 kA	150 kV 50 Hz	1990/1992	
27	4JEMBER	BUS B	BOWTHORPE	2MB.150	J.55017,27,28	10 kA	150 kV 50 Hz	1990/1992	
28	4JEMBER	TR3 80	BOWTHORPE	MBAA - 150	N.701 - 72	10 kA	150 kV 50 Hz	1994/1997	
29	4JEMBER	BUS A	BOWTHORPE	MBAA - 150	N.701 - 71	10 kA	150 kV 50 Hz	1994/1997	
30	4JEMBER	BUS B	BOWTHORPE	MBAA - 150	N.701 - 70	10 kA	150 kV 50 Hz	1994/1997	
31	4JEMBER	TR SVC 50	SIEMENS	3E P2 138 - 2 PN	K35019.397	10 kA	138 kV 50 Hz	1983/1994	
32	4JEMBER	BUS A	SIEMENS	3E P2 138 - 2 PN	K35019.396	10 kA	138 kV 50 Hz	1983/1994	
33	4JEMBER	BUS B	SIEMENS	3E P2 138 - 2 PN	K35019.395	10 kA	138 kV 50 Hz	1983/1994	



Lampiran F. Data Sheet *Earth Tester*



Earth Testers

**MODEL 4105A**

4105A Soft Case Model

4105A-H Hard Case Model

Product Catalogue

- Dust and drip proof (designed to IEC 529 IP54)
- In addition to the facility for precision measurement, test leads for simplified two-wire measuring system also supplied as standard accessories. (unit can be hung from the neck for simplified measurement)
- Designed to meet IEC61010-1 safety standard
- Capable of measuring earth voltage.
- Automatic warning when resistance of auxiliary earth spikes is in excess of tolerance
- Small and lightweight Shock resistant new case material
- 2mA measuring current permits earth resistance tests without tripping earth leakage current breakers in the circuit under test.



CE



4105A Soft Case Model



4105A-H Hard Case Model

Measurement Ranges	Earth Resistance:0-200Ω-2000Ω-2000Ω Earth Voltage:(50,60Hz):0-200V AC
Accuracy	Earth Resistance:±2%rdg±0.10(200Ωrange) ±2%rdg±3rdg(2000Ω/2000Ωrange) Earth Voltage:±1%rdg±4dg
Overload Protection	Earth Resistance:280V AC for 10 seconds across 2 of the 3 terminals Earth Voltage:300V AC for 1 minute
Safety Standard	IEC61010-1 CAT.III 300V Pollution Degree 2, IEC61557

