

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



**ANALISIS SISTEM PENGETANAHAN GRID MENGGUNAKAN  
TEKNIK JARAK VARIABEL DI GARDU INDUK BLIMBING  
MALANG**

**SKRIPSI**

*Disusun oleh :*  
**AGUS RUSMIANTO**  
**NIM : 98.12.114**

**MARET 2006**



**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS SISTEM PENGETANAHAN GRID MENGGUNAKAN  
JARAK TEKNIK VARIABEL DI GARDU INDUK BLIMBING  
MALANG**

**SKRIPSI**

*Disusun guna Melengkapi dan Memenuhi Syarat-Syarat  
Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

**Disusun Oleh :  
AGUS RUSMIANTO  
NIM : 98.12.114**

**Diperiksa dan disetujui**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Djojo Priatno, MT  
NIP. Y. 1013500107**

**Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
NIP. Y. 1018890189**



**Mengetahui  
Jurusan Teknik Elektro (S-1)**

**Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
NIP. Y. 1039500274**

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

# SEMBAH PERSEMBAHAN

Rasa syukur yang begitu dalam aku panjatkan kepada Allah SWT, atas semua rahmat dan kelancaran yang telah diberikan untukku dalam menyusun skripsi ini. Terima kasih Allah atas semua berkah yang Engkau limpahkan padaku... Aku yakini semua yang aku jalani dan yang terjadi atas semua kehendakMu.

## SKRIPSI HATI AKU PERSEMBAHKAN KEPADA:

Bapak & Ibuku terima kasih krn telah memberikan kasih sayang & yg membuat aku trs dpt menyelesaikan kuliahku dan skripsi ini. Mba Emmy & Mas Try Prasetyo tersayang, terima kasih atas do'a, nasehat & kasih sayang yg aku ada untukku. Mba Elly & Mas Bernat (Sidoarjo) terima kasih atas kebaikan, kasih sayang & nasehatnya. Bapak & Ibu Harsono (Kendal Sari VI/32) terima kasih atas kebaikan & yg telah memperbolehkan kr u/ bisa kost sampai kuliahku selesai. Mba Anis terima kasih krn sudah mau menjadikan aku adek, teman & slalu berbagi cerita padaku. U/ semua keluarga & adek2ku trima kasih banyak atas semua kasih sayang & kebaikannya.

Mas Jayen terima Kasih atas segala bantuan & kebaikan mas padaku, Ibu Puji terima kasih atas semua bantuannya, Sahabatku Roy Setiawan T.EL 98 (kiper ITN) Frend...cepat selesaikan kuliahmu, Tomy T.EL 98 (semangat donk?), Roy Agustiawan ST (T.EL 98) Trim's Frend atas kebaikannya, Dhani Artha. ST (T.ELK 98) Trim's sahabat atas semua saran2nya & bantuannya. V Dini Pangesti & V Dina Pangestuti (sahabat SMU-ku di Jember (thank you forever) krn sudah begitu baik & sayang padaku lg slalu memberikan semangat dan hlaughku. Prasetya Ningsih (Trim's) atas semua kasih sayang & persahabatannya. Mas Josafat/ Sony (Polresta Malang) trim's atas semua bantuannya. Mas Sanyul, Mas Wawan/ Dyong, Mas Mahendra Komputer & Mas2ku yang lain Trim's atas semua bantuan & kebaikannya. Ade Wahyu adji (Merik) & Eva Purbianti (lala) trim's krn sudah begitu baik pada krn yg suka bercanda sama kalian & slalu senang bercecece bersama Mas. U/ semua sahabat2ku yg mungkin gak bisa dlm sebutkan jgn persatu baik yg ada di ITN, kostan Kendal Sari VI/32 maupun yg ada di perguruan tinggi lain thanks All Friends aku gak akan lupa pada kalian semua.

## ABSTRAKSI

*Analisis Sistem Pentanahan Grid Menggunakan Teknik Jarak Variabel Di Gardu Induk Blimbing.*

*Agus Rusmianto, 9812114, Teknik Energi Elektro Konsentrasi Teknik Energi Listrik S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang  
Dosen Pembimbing I, Ir. Djojo Priatmono, MT  
Dosen Pembimbing II, Ir. Yusuf Nakhoda, MT*

*Kata Kunci : Tegangan Sentuh, Langkah, Konduktor Grid,  
(Teknik Sistem Pengetanahan)*

Gardu Induk merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang mempunyai kemungkinan sangat besar mengalami bahaya timbulnya gangguan. Arus gangguan akan mengalir pada bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah. Salah satu usaha untuk memperkecil tegangan permukaan tanah maka diperlukan suatu pengetanahan yaitu dengan cara penambahan konduktor. Agar diperoleh kondisi sistem pengetanahan Gardu Induk yang sesuai dengan persyaratan keamanan dan menjamin keselamatan orang yang berada di area Gardu Induk pada saat terjadi gangguan, sebaiknya tetap menggunakan pengetanahan *Grid* dengan menambah batang konduktor dengan panjang 788,82 m.

---

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas karunia dan hidayah-Nya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, yang diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Energi Listrik S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.

Pada kesempatan yang sangat bahagia ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. F. Yudi Limpraptono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ir. Mimien Mustikawati selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Ir. Djojo Priatmono, MT sebagai Dosen Pembimbing I atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT sebagai Dosen Pembimbing II atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Kedua orang tuaku yang paling kucintai yang telah memberikan doa restu serta dukungan moril maupun materil hingga terselesaikan skripsi ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa isi Skripsi ini masih jauh dari sempurna, Untuk itu saran dan kritik yang membangun penulis harapkan.

Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun maupun pembaca pada umumnya.

Malang, Maret 2006

Penulis

---

## DAFTAR ISI

### LEMBAR PERSETUJUAN

### ABSTRAKSI

### KATA PENGANTAR

### DAFTAR ISI

### DAFTAR GAMBAR

### DAFTAR TABEL

### DAFTAR GRAFIK

### BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	1
1.3. Tujuan Pembahasan.....	2
1.4. Relevansi dan Kontribusi.....	2
1.5. Batasan Masalah.....	2
1.6. Metodologi.....	3
1.7. Sistematika Pembahasan.....	3

### BAB II SISTEM PENGETANAHAN PERALATAN GARDU INDUK

2.1. Tujuan Pengetanahan Gardu Induk.....	5
2.2. Tahanan Jenis Tanah.....	5
2.3. Pengaruh Ketebalan Lapisan Koral Pada permukaan Tanah.....	7
2.4. Macam-macam Pengetanahan Peralatan Gardu Induk.....	10
2.4.1. Pengetanahan Batang Vertikal ( <i>Grouding Rod</i> ).....	11
2.4.1.1. Penanaman Satu Batang Elektroda Tegak Lurus Permukaan Tanah.....	11
2.4.1.2. Penanaman Dua Batang elektroda Tegak Lurus Permukaan Tanah.....	12
2.4.1.3. Beberapa Batang Elektroda Ditanam Tegak Lurus Permukaan Tanah.....	14

2.4.2. Pengetanahan Kisi-kisi ( <i>Grounding Grid</i> ).....	15
2.4.2.1. Penanaman Satu Batang Elektroda Tegak Lurus Permukaan Tanah.....	16
2.4.2.2. Penanaman Dua Batang elektroda Tegak Lurus Permukaan Tanah.....	17
2.4.2.3. Beberapa Batang Elektroda Ditanam Tegak Lurus Permukaan Tanah.....	18
2.4.3. Pengetanahan Gabungan.....	19
2.4.4. Pengetanahan Plat.....	21

### **BAB III BAHAYA YANG TIMBUL DI GARDU INDUK PADA KEADAAN GANGGUAN TANAH**

3.1. Arus Melalui Tubuh Manusia.....	22
3.1.1. Arus Persepsi.....	22
3.1.2. Arus Mempengaruhi Otot.....	23
3.1.3. Arus Fibrilasi.....	23
3.1.4. Arus Reaksi.....	24
3.2. Tahanan Tubuh Manusia.....	25
3.3. Bahaya Tegangan Yang Timbul Pada Saat Gangguan Tanah.....	26
3.3.1. Tegangan Sentuh.....	27
3.3.1.1. Tegangan Sentuh Yang Dijinkan.....	27
3.3.1.2. Tegangan Sentuh Maksimum ( <i>Mesh</i> ).....	29
3.4. Tegangan Langkah.....	30
3.4.1. Tegangan Langkah Yang Dijinkan.....	31
3.4.1.1. Tegangan Langkah Sebenarnya.....	32
3.5. Tegangan Pindah.....	33
3.5.1. Arus Hubungan Singkat Ketanah.....	34
3.6. Konduktor Pengetanahan.....	35
3.6.1. Ukuran Konduktor Pengetanahan.....	36
3.6.2. Panjang Minimum Konduktor.....	37
3.7. Spesifikasi Data Sistem Pengetanahan Peralatan Gardu Induk.....	38

3.7.1. Tataletak Pengetanahan Peralatan.....	38
3.7.2. Penyambungan Konduktor Pengetanahan.....	39
3.7.3. Tanah Jenis Tanah.....	39
3.7.4. Nilai Beban Trafo Pada Gardu Induk.....	39
3.7.5. Waktu Penghapusan Gangguan.....	40

**BAB IV ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN DAYA TERHADAP  
SISTEM PENGETANAHAN PERALATAN DI GARDU INDUK**

4.1. Analisis Sistem Pengetanahan Peralatan Sebelum Terjadi Penambahan Daya di Gardu Induk Blimbing.....	41
4.1.1. Arus Hubungan Singkat Tiga-Phasa Simetris.....	41
4.1.2. Arus Hubungan Singkat Satu-Phasa Ketanah.....	42
4.1.3. Luas Penampang konduktor Pengetanahan Minimum.....	42
4.1.4. Tahanan Pengetanahan.....	43
4.1.5. Tegangan Sentuh.....	45
4.1.5.1. Tegangan Sentuh Yang Dijinkan.....	46
4.1.5.2. Tegangan Sentuh Maksimum Sebenarnya.....	46
4.1.6. Tegangan Langkah.....	48
4.1.6.1. Tegangan Langkah Yang Dijinkan.....	48
4.1.6.2. Tegangan Langkah Sebenarnya.....	49
4.1.7. Tegangan Pindah.....	50
4.2. Tinjauan Hasil Perhitungan Sistem Pengetanahan Sebelum Peralatan Gardu Induk.....	51
4.3. Analisis Sistem Pengetanahan Peralatan Setelah Terjadi Penambahan Daya Di Gardu Induk Blimbing.....	51
4.3.1. Arus Hubungan Singkat Tiga-Phasa Ketanah.....	51
4.3.2. Arus Hubungan Singkat Satu-Phasa Ketanah.....	52
4.3.3. Luas Penampang Kopnduktor Pengetanahan minimum.....	52
4.3.4. Tahanan Pengetanahan.....	53
4.3.5. Tegangan Sentuh Maksimum Sebenarnya.....	56
4.3.6. Tegangan Langkah Sebenarnya.....	57

4.3.7. Tegangan pindah.....	58
4.4. Tinjauan Hasil Perhitungan Sistem Pengetanahan Peralatan Setelah Terjadi Penambahan Daya Di Gardu Induk.....	59
4.5. Penambahan Konduktor Sistem Pengetanahan Peralatan Pada Gardu Induk.....	59
4.5.1. Tahanan Pengetanahan.....	60
4.5.2. Tegangan Sentuh Maksimum Sebenarnya.....	63
4.5.3. Tegangan Langkah Sebenarnya.....	64
4.5.4. Tegangan pindah.....	65
4.6. Hasil Perhitungan Sistem Pengetanahan Peralatan Dengan Penambahan Konduktor Di Gardu Induk Blimbing.....	66

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

## DAFTAR GAMBAR

2.1. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Dengan Metode Empat Elektroda.....	6
2.2. Distribusi Tegangan Dengan Adanya Penambahan Lapisan Koral.....	7
2.3. Penanaman Satu Batang Elektroda Pengetanahan dan Distribusi Tegangannya.....	11
2.4. Penanaman Dua Batang Elektroda Pengetanahan dan Distribusi Tegangannya.....	13
2.5. Distribusi Tegangan dan Arus Sekitar Pengetanahan <i>Grid</i> .....	16
2.6. Satu Batang elektroda Pengetanahan Ditanam Sejajar Dengan Permukaan Tanah.....	17
2.7. Pengetanahan Gabungan.....	20
3.1. Tegangan Sentuh dan Rangkaian Penggantinya.....	27
3.2. Tegangan Langkah dan Rangkaian Penggantinya.....	30
3.3. Tegangan Pindah dan Rangkaian Penggantinya.....	33
3.4. Tampilan Data Pada Sistem Pengetanahan.....	67
3.5. Perhitungan Sebelum Penambahan Daya.....	68
3.6. Perhitungan Sesudah Penambahan Daya.....	69
3.7. Perhitungan Keseluruhan Hasil Analisa.....	70

## DAFTAR TABEL

3.1. Batas-batas Arus dan Pengaruh Pada Tubuh Manusia.....	25
3.2. Harga Tahanan Tubuh Manusia.....	26
3.3. Tegangan Sentuh Yang Diijinkan dan Lama Gangguan.....	29
3.4. Tegangan Langkah Yang Diijinkan dan Lama Gangguan.....	32
3.5. Ukuran Minimum Konduktor Tembaga Untuk Pengetanahan.....	37

## DAFTAR GRAFIK

2.1. Hubungan $F(x)$ Dengan $K$ .....	9
2.2. Hubungan $C_s$ dan Ketebalan Lapisan Koral $h_s$ .....	10
2.3. Hubungan Antara Koefisien $K_i$ Dengan Perbandingan Panjang dan Lebar.....	15
2.4. Hubungan Antara $K_2$ Dengan Perbandingan Panjang dan Lebar.....	19

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Gardu induk merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang mempunyai kemungkinan sangat besar mengalami bahaya timbulnya gangguan sehingga arus gangguan itu mengalir ketanah sebagai akibat isolasi peralatan yang tidak berfungsi dengan baik.

Arus gangguan tersebut akan mengalir pada bagian-bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah disekitar Gardu Induk. Arus gangguan ini menimbulkan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan juga gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri. Biasanya gradien tegangan pada permukaan tanah tergantung pada tahanan jenis tanah atau sesuai dengan struktur tanah tersebut. Salah satu usaha untuk memperkecil tegangan permukaan tanah maka diperlukan suatu pentanahan yaitu dengan cara penambahan konduktor.

Oleh karena lokasi peralatan listrik Gardu Induk biasanya tersebar dan berada pada daerah yang mempunyai struktur tanah berlapis-lapis maka di perlukan perencanaan pentanahan yang sesuai, dengan tujuan untuk mendapatkan tanahanan pengetanahan yang kecil sehingga tegangan permukaan yang timbul tidak membahayakan baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan ketanah.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, maka rumusan masalah yang akan dibahas yaitu :

Menganalisis untuk menghitung tegangan gandeng dan menghitung kapasitansi dari susunan batang elektroda pengetanahan dengan distribusi arus

atau muatan keseluruhan sepanjang batang elektroda. Dari masalah diatas maka skripsi ini mengambil judul :

## **OPTIMASI SISTEM PENTANAHAN GRID MENGGUNAAN TEKNIK JARAK VARIABEL DI GARDU INDUK BLIMBING**

### **1.3. Tujuan Pembahasan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam pembahasan tugas akhir ini adalah :

Untuk menganalisis sistem landasan dalam menentukan rentang langkah yang aman pada tegangan sentuh, pindah dan tegangan langkah yang di terima oleh industri. Dan menganalisis penambahan konduktor pengetanahan pada gardu induk agar pontensial gandeng lebih rendah, dalam menentukan sistem pengetanahan yang lebih optimal.

### **1.4. Relevansi Dan Kontribusi**

Dengan diterapkan pengetanahan peralatan yang tepat pada suatu gardu induk didapatkan tahanan tanah yang serendah-redahnya dan diharapkan dapat melindungi manusia dari bahaya listrik.

### **1.5. Batasan Masalah**

Agar pembahasan tidak terlalu luas dan tujuan pembahasan tercapai, maka perlu diadakan pembatasan sebagai berikut :

1. Data diambil dari Gardu Induk Blimbing
2. Mengevaluasi keseluruhan parameter tegangan pada pengetanahan Grid.
3. Mengasumsikan lapisan tanah di Gardu Induk Blimbing.
4. Menganalisis keseluruhan profil tegangan pada Gardu Induk Blimbing
5. Pembahasan hanya ditinjau dari segi teknis saja dan tidak membahas segi ekonomis.

## 1.6. Metodologi Pembahasan

Metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah :

1. Pengumpulan data sekunder dari PT. PLN (persero) UPT Malang untuk keperluan analisis yang meliputi :

- Gambar tataletak pengetanahan peralatan Gardu Induk Blimbing.
- Tahanan jenis tanah rata-rata pada Gardu Induk Blimbing.
- Spesifikasi konduktor pengetanahan.
- Daya hubung singkat tiga-fasa pada Gardu Induk Blimbing.

2. Analisis dari data yang ada untuk perhitungan :

Tegangan sentuh, tegangan langkah, tegangan pindah yang sebenarnya dan yang diijinkan, sebelum dan sesudah penambahan daya pada gardu induk Blimbing. Luas penampang konduktor pengetanahan sebelum dan sesudah penambahan daya pada gardu induk Blimbing. Tahanan pengetanahan peralatan gardu induk Blimbing sebelum dan sesudah penambahan konduktor.

3. Kesimpulan dan analisis hasil perhitungan.

## 1.7. Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam tugas akhir ini akan disusun menjadi lima Bab dengan uraian sebagai berikut :

- BAB I : Pendahuluan yang berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, relevansi dan kontribusi, metodologi, dan Sistematika pembahasan.
- BAB II : Sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk, membahas tentang tujuan pengetanahan peralatan Gardu Induk, tahanan jenis tanah, macam-macam pengetanahan peralatan Gardu induk.
- BAB III : Bahaya yang timbul di Gardu Induk pada keadaan gangguan tanah, membahas tentang arus melalui tubuh manusia (arus persepsi, arus mempengaruhi otot, arus fibrilasi dan arus reaksi), bahaya tegangan yang timbul pada saat gangguan tanah (tegangan sentuh, tegangan langkah, tegangan pindah yang sebenarnya dan yang diijinkan), arus hubung singkat ketanah, konduktor

pengetanahan dan spesifikasi data sistem pengetanahan Gardu Induk.

BAB IV : Analisa pengaruh penambahan daya pada Gardu Induk Blimbing Malang terhadap sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk, membahas tentang analisis sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk setelah penambahan daya, analisis perbaikan sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk Blimbing Malang dengan penambahan konduktor pengetanahan.

BAB V : Penutup yang berisikan kesimpulan dan saran.

#### DAFTAR PUSTAKA

## BAB II

### SISTEM PENGETANAHAN PERALATAN GARDU INDUK

#### 2. 1. Tujuan Pengetanahan Gardu Induk

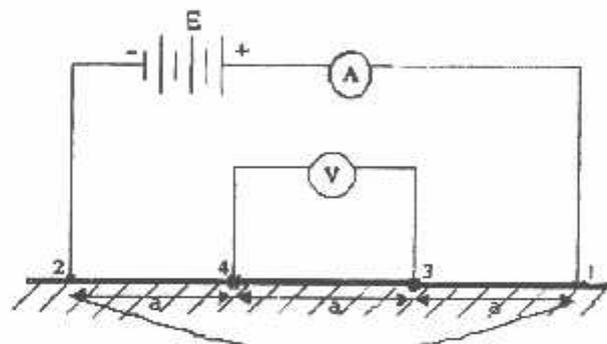
Pengetanahan peralatan merupakan pengetanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus listrik. Adapun tujuan dari pengetanahan peralatan Gardu Induk adalah: <sup>[5]</sup>

1. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antar bagian-bagian ini dengan tanah, sampai pada suatu harga aman (tidak membahayakan) untuk semua kondisi operasional normal atau tidak normal, dengan demikian sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk berfungsi untuk memperoleh tegangan merata dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga untuk menjaga agar operator atau orang yang berada di daerah Gardu Induk berada pada tegangan yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu.
2. Untuk memperoleh impedansi yang kecil atau rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Jadi bila arus hubung singkat ke tanah itu dipaksakan mengalir melalui impedansi tanah yang tinggi, ini dapat menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya.

#### 2. 2. Tahanan Jenis Tanah

Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangat bergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah rata-rata untuk keperluan perencanaan, maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu, misalnya selama satu tahun. Biasanya tahanan jenis 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 dimana terdapat air tanah yang konstan. Pada sistem pengetanahan yang tidak mungkin atau tidak perlu untuk ditanam lebih dalam sehingga tidak mencapai air tanah yang konstan, variasi tahanan jenis tanah sangat besar. Karena kadangkala penanaman memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi, harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin. Pengukuran tahanan jenis tanah umumnya dilakukan dengan menggunakan metode empat titik yang terdiri dari dua elektroda arus dan dua elektroda tegangan, sebuah baterai, sebuah amperemeter dan sebuah voltmeter yang sensitif, sebagaimana terlihat pada gambar 2-1 berikut ini :



Gambar 2-1.  
Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode empat elektroda  
Sumber; Hutauruk, T.S, 1999: 142

Prinsip kerja dari pengukuran ini adalah arus akan mengalir jika rangkaian sudah tertutup. Arus mengalir ke tanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda lainnya dalam jarak yang cukup jauh sehingga pengaruh diameter konduktor dapat diabaikan. Arus yang masuk ke tanah mengalir secara radial dari elektroda 1 ke elektroda 2. Arus yang mengalir akan menimbulkan beda potensial pada dua elektroda tegangan (elektroda 3 dan 4).

Besarnya beda potensial tersebut akan terukur pada voltmeter. Tegangan yang terukur dibagi dengan arus yang terukur menghasilkan nilai tahanan gandeng (mutual resistansi). Tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan penurunan persamaan 2-1 sebagai berikut :<sup>[5]</sup>

Dimana

$$V = \frac{I\rho}{2\pi.a}$$

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(2-1)$$

$$R = \frac{I\rho / 2\pi.a}{I} = \frac{\rho}{2\pi.a}$$

Maka

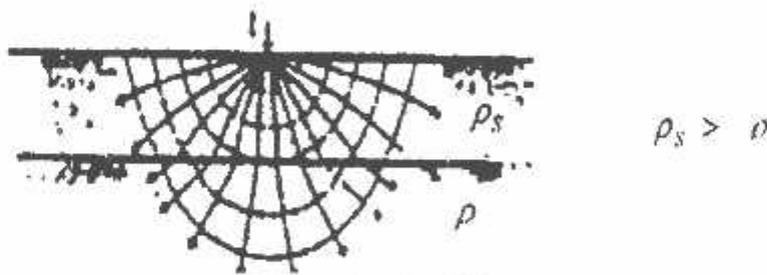
$$\rho = 2\pi a R \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana

- $\rho$  = Tahanan jenis rata-rata tanah (Ohm-m)
- $a$  = Jarak antara batang elektroda (m)
- $R$  = Tahanan gandengan (Ohm)

### 2.3. Pengaruh Ketebalan Lapisan Koral Pada Permukaan Tanah

Pada kedalaman antara 0,08 - 0,15 meter lapisan koral yang membentang pada permukaan diatas lokasi pengetanahan sehingga membuat besar tahanan antara tanah dan kaki orang yang berada di areal gardu induk semakin bertambah. Lapisan koral juga berfungsi menjaga permukaan tanah yang mempunyai tahanan jenis tanah lebih rendah dari lapisan koral, maka arus gangguan akan lebih sedikit mengalir ke atas lapisan permukaan sehingga gradien tegangan dipermukaan tanah semakin kecil, seperti terlihat pada gambar 2-2



Gambar 2-2.  
Distribusi tegangan dengan adanya penambahan lapisan koral  
Sumber: Sverak, J.G, IEEE, No. 9 Sept 1981:4285

Keterangan :

$P_s$  = Tahanan jenis permukaan tanah dengan lapisan koral

$P$  = Tahanan jenis tanah

Dengan adanya penambahan lapisan koral, maka arus yang mengalir pada tubuh manusia akan semakin kecil. Dengan asumsi tahanan jenis tanah bersifat uniform, tahanan kontak kaki ke tanah dalam hubungan seri maupun paralel adalah :<sup>[7]</sup>

$$R_{2FS} = 2(R_F \cdot R_{MF}) \dots \dots \dots (2-3)$$

$$R_{2FP} = 1/2 (R_F + R_{MF}) \dots \dots \dots (2-4)$$

Dimana :

$R_{2FS}$  = Tahanan kontak kedua kaki ketanah dalam hubungan seri

$R_{2FP}$  = Tahanan kontak kedua kaki ketanah dalam hubungan paralel

$R_F$  = Tahanan kontak ke tanah dari satu kaki (Ohm)

$R_{MF}$  = Tahanan bersama antara kaki dengan kaki (Ohm)

Hubungan antara ketebatan lapisan koral dan pengaruhnya terhadap besar tahanan kontak antara kaki dengan tanah adalah<sup>[7]</sup>

$$R_F = \frac{\rho}{4b} F(X_1) \dots \dots \dots (2-5)$$

$$R_{MF} = \frac{\rho}{2\pi d_f} F(X_2) \dots \dots \dots (2-6)$$

Dimana :

$b$  = Diameter kaki ( m )

$d_f$  = Jarak antara kedua kaki ( m )

$F(X_1)$  dan  $F(X_2)$  dapat ditentukan dengan cara memplot grafik 2-1, yaitu ;

$$X_1 = \frac{h_s}{b} \text{ untuk } R_F$$

$$X_2 = \frac{h_s}{d_f} \text{ untuk } R_{MF}$$

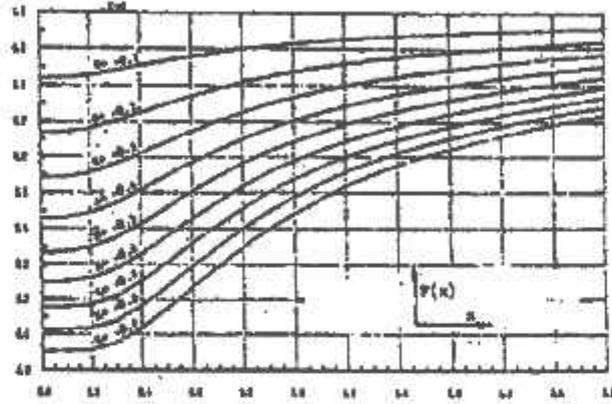
$h_s$  = Ketebalan lapisan koral (m)

K = Faktor refleksi

$$= \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$$

$\rho_s$  = Tahanan jenis permukaan tanah dengan lapisan koral (ohm-m)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-m)



Grafik 2-1

Grafik hubungan F(x) dengan K

Sumber: Sverak, J.G. IEEE, No. 9 Sept 1981:4285

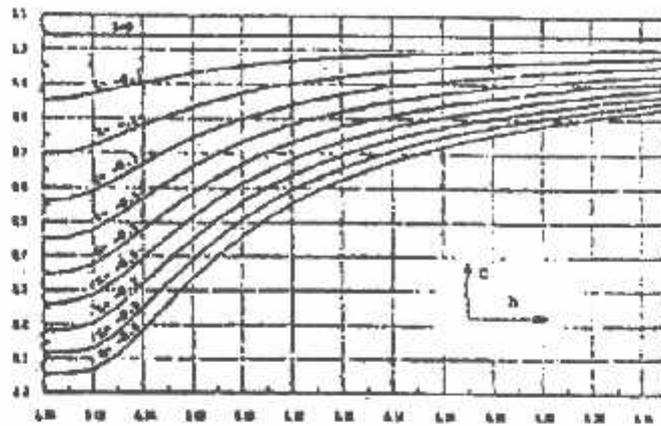
Dengan menggunakan nilai dari tahanan kontak ketanah dari satu kaki  $R_c = 3\rho$  dan pengaruh tahanan bersama antar kaki dengan kaki yang relatif kecil sehingga dapat diabaikan serta  $b$  (diameter kaki) selalu diasumsikan bernilai 0,08 meter, maka persamaan tahanan kontak dua kaki dengan tanah dalam hubungan seri maupun paralel adalah [7] Tahanan kontak dua kaki dengan tanah dalam hubungan seri :

$$\begin{aligned} R_{2FS} &= 2(3\rho) = 6\rho \\ R_{2FG} &= 6C_s \rho_s \dots \dots \dots (2-7) \end{aligned}$$

Tahanan kontak dua kaki dengan tanah dalam hubungan paralel :

$$\begin{aligned} R_{2FP} &= \frac{1}{2} (3\rho) = 1,5\rho \\ R_{2FP} &= 1,5C_p \rho_s \dots \dots \dots (2-8) \end{aligned}$$

$C_s$  adalah faktor reduksi dapat ditentukan dengan cara memplot grafik 2-2



Grafik 2-2.

Grafik hubungan  $C_s$  dan ketebalan lapisan koral  $h_s$   
Sumber : Sverak, J.G, IEEE, No. 9 Sept 1981: 4285

#### 2.4. Macam-macam Pengetanahan Peralatan Gardu Induk

Sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk menurut jenis elektroda pengetanahannya dapat dibedakan menjadi :

1. Pengetanahan batang vertikal (*grounding rod*), adalah pengetanahan yang dilakukan dengan cara menanam batang elektroda pengetanahan tegak lurus dengan permukaan tanah.
2. Pengetanahan kisi-kisi (*grounding grid*), adalah pengetanahan yang dilakukan dengan cara menanam batang elektroda pengetanahan sejajar dengan permukaan tanah dan elektroda pengetanahan tersebut dihubungkan dengan yang lain sehingga berbentuk mesin.
3. Pengetanahan gabungan batang vertikal (*rod*) dengan kisi-kisi (*grid*), adalah pengetanahan yang dilakukan dengan cara mengkombinasikan pengetanahan batang vertikal (*rod*) dengan pengetanahan kisi-kisi (*grid*).
4. Pengetanahan plat adalah pengetanahan yang dilakukan dengan cara menanam plat konduktor didalam tanah. Plat ini ditanam sejajar permukaan tanah.

### 2.4.1. Pengetanahan Batang Vertikal (*grounding rod*)

Tujuan dari pengetanahan batang vertikal (*rod*) adalah untuk memperoleh tahanan tanah yang rendah sehingga dapat memungkinkan gangguan yang terjadi, dengan cepat dapat terdistribusi ke tanah. Jika dengan satu batang elektroda pengetanahan vertikal masih diperoleh tahanan tanah yang rendah dan diharapkan distribusi tegangan yang terjadi lebih merata. Nilai tahanan tanah pada pengetanahan peratatan gardu induk harus diperhitungkan dengan cermat. Karena kenaikan gradien tegangan akibat arus gangguan tanah sebanding dengan tahanan tanah. Pengetanahan batang elektroda vertikal dibedakan menjadi :

#### 2.4.1.1. Penanaman Satu Batang Elektroda Tegak Lurus Permukaan Tanah

Satu batang elektroda berbentuk silinder yang mempunyai panjang  $L$  dan berdiameter  $2a$  (jari-jari =  $a$ ) ditanam tegak lurus permukaan tanah seperti terlihat pada gambar 2-3 (a), dan distribusi tegangan yang terjadi disekitar satu batang elektroda pengetanahan pada kondisi gangguan tanah seperti terlihat pada gambar 2-3 (b)



Gambar 2-3

Penanaman satu batang elektroda pengetanahan dan distribusinya

Sumber : Tagg, G.F, *Earth Resistances* : 1964-94

Keterangan:

- $2a$  = Diameter konduktor pengetanahan
- $L$  = Panjang konduktor pengetanahan
- $E_x$  = Tegangan antara elektroda dengan tanah

Dasar perhitungan tahanan pengetanahan adalah perhitungan kapasitansi dari susunan batang elektroda pengetanahan dengan anggapan bahwa distribusi

arus atau muatan uniform sepanjang batang elektroda. Hubungan tahanan pengetanahan dengan kapasitansi dinyatakan dengan persamaan berikut : <sup>[5]</sup>

$$R = \frac{\rho}{4\pi} \dots\dots\dots(2-9)$$

Dimana :

- R = Tahanan (Ohm)
- C = Kapasitansi (Farad)
- $\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-cm)

Besar tahanan dari suatu batang elektroda yang ditanam tegak lurus kedalam tanah dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

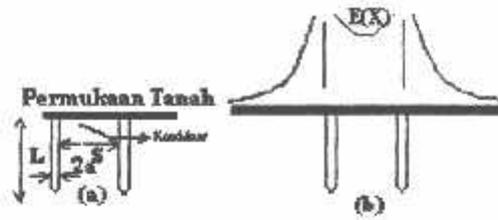
$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots(2-10)$$

Dimana

- R = Tahanan satu batang elektroda (Ohm)
- L = Panjang batang elektroda dalam tanah (m)
- a = Jari-jari batang elektroda (m)
- $\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-m)

**2.4.1.2. Penanaman Dua Batang Elektroda Tegak Lurus Permukaan Tanah**

Dengan menggunakan asumsi yang sama seperti pada penanaman satu batang elektroda pengetanahan, yaitu bentuk elektroda pengetanahan berbentuk silindris dengan panjang L, berdiameter 2a dan jarak antara kedua elektroda adalah S. Maka penanaman dua batang elektroda tegak lurus permukaan tanah dan distribusi tegangannya seperti terlihat pada gambar 2-4



Gambar 2-4  
 Penanaman dua batang elektroda pengetanahan dan distribusi tegangannya  
 Sumber: Tagg, G.F, Earth Resistances: 1964-104

Keterangan:

- 2a = Diameter konduktor pengetanahan
- L = Panjang konduktor pengetanahan
- Ex = Tegangan antara elektroda dengan tanah
- S = Jarak antar elektroda

Dengan semakin banyaknya batang-batang elektroda yang ditanam akan didapatkan distribusi tegangan dalam tanah yang lebih merata. Tahanan pengetanahan untuk dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus permukaan tanah adalah :

1. Untuk S lebih kecil dari L

$$R = \frac{P}{4\pi d} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \right) \dots \dots \dots (2-11)$$

2. Untuk S lebih besar dari L

$$R = \frac{P}{4\pi d} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{P}{4\pi S} \left( 1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} \right) \dots \dots \dots (2-12)$$

Dimana

- R = Tahanan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus permukaan tanah (Ohm).
- P = Tahanan jenis tanah (Ohm-m)

- L = Panjang batang elektroda dalam tanah (m)
- A = Jari-jari batang elektroda (m)
- S = Jarak antara batang elektroda (m)

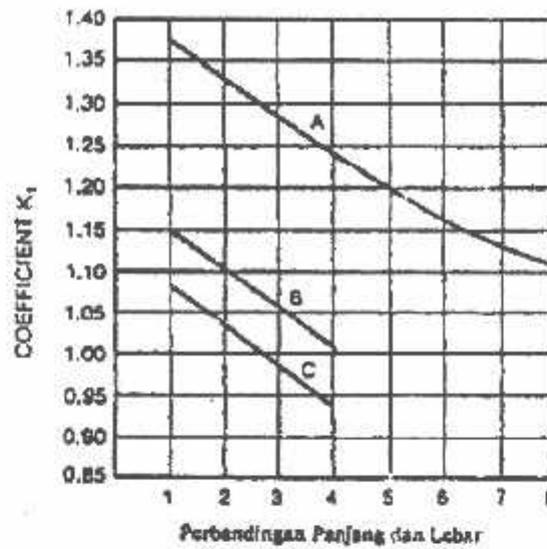
**2.4.1.3. Beberapa Batang Elektroda Ditanam Tegak Lurus Permukaan tanah**

Untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah serta distribusi tegangan yang terjadi lebih merata, maka digunakan penanaman beberapa batang elektroda yang ditanam tegak lurus permukaan tanah. Namun untuk areal pengetanahan peralatan yang luas dan mempunyai tahanan jenis tanah yang besar, maka penanaman elektroda dengan cara ini perlu dikaji lebih jauh karena dilihat dari segi ekonomis kurang efisien. Besarnya tahanan pengetanahan dari beberapa batang elektroda yang ditanam tegak lurus permukaan tanah dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$R = \frac{\rho}{2\pi nL} \left[ \ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1 + 2k_1 \left(\frac{L}{\sqrt{A}}\right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right] \dots\dots\dots(2-13)$$

Dimana

- L = Panjang batang elektroda ( m )
- D = Diameter batang elektroda ( m )
- n = Jumlah batang elektroda
- $\rho$  = Tahanan jenis tanah ( Ohm-m )
- A = Luas daerah pengetanahan ( m<sup>2</sup> )
- K<sub>1</sub> = Koefisien yang tergantung dari perbandingan, panjang dan lebar nilai  
K<sub>1</sub> dapat ditentukan dari grafik 2-3



Grafik 2-3.

Grafik hubungan antara koefisien  $K_i$  dengan perbandingan panjang dan lebar

Sumber: ANSI Std 80-1986: 86

Dimana

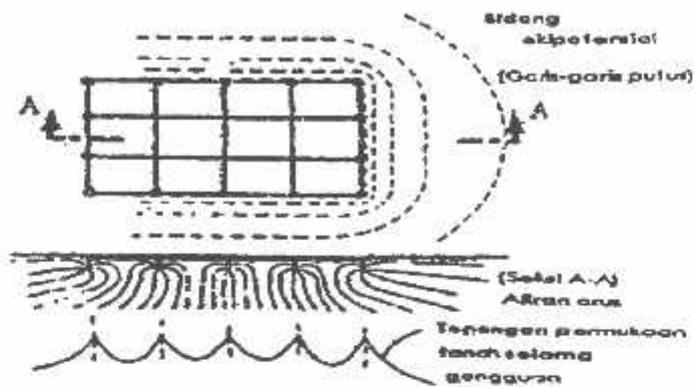
- Kurva A untuk kedalaman  $h = 0$
- Kurva B untuk  $h = \frac{1}{10}\sqrt{A}$
- Kurva C untuk  $h = \frac{1}{10}\sqrt{A}$

Dan  $h$  menyatakan jarak ujung atas konduktor pengetanahan terhadap permukaan tanah, dan  $A$  menyatakan luasan dari pengetanahan peralatan.

#### 2.4.2. Pengetanahan Kisi-kisi (*Grounding Grid*)

Pengetanahan kisi-kisi tidak sama dengan pengetanahan batang vertikal, walaupun demikian didalam mencari besar tahanan pengetanahan antara pengetanahan kisi-kisi dan pengetanahan batang vertikal saling berhubungan, perbedaannya hanya terletak cara penanaman batang elektroda pengatanahan. Pengetanahan kisi-kisi dilakukan dengan cara menanam batang elektroda yang sejajar dengan permukaan tanah, dan elektroda-elektroda tersebut dihubungkan satu sama lainnya sehingga membentuk mata jala (*mesh*).

Pengetanahan kisi-kisi dilakukan untuk mengatasi gradien tegangan yang tidak merata pada permukaan tanah. Distribusi tegangan untuk pengetanahan *Grid* yang paling sederhana pada suatu Gardu Induk adalah seperti pada gambar 2-5.



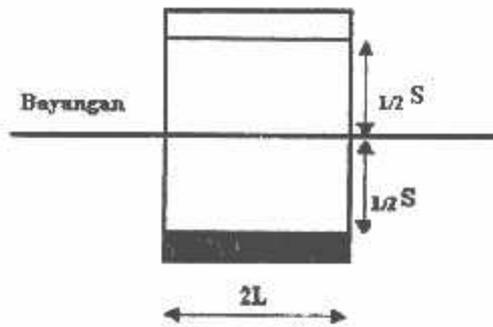
Gambar 2-5.

Distribusi tegangan dan arus sekitar pengetanahan grid  
 Sumber: Sverak, J.G, IEEE No. 9 September 1981:4282

Dari gambar diatas tampak bahwa makin banyak elektroda pengetanahannya, maka distribusi tegangan yang terjadi semakin merata dan sebaliknya jika jarak elektroda semakin jauh, maka distribusi tegangan yang terjadi semakin tidak merata.

#### 2.4.2.1. Satu Batang Elektroda Ditanam Sejajar Permukaan Tanah

Untuk menghitung besarnya pengetanahan dengan satu batang elektroda yang ditanam sejajar permukaan tanah sama dengan menghitung besar tahanan pengetanahan dengan penanaman dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus permukaan tanah. Penanaman satu batang elektroda pengetanahan sejajar dengan permukaan tanah dapat dilihat pada gambar 2-6



Gambar 2-6

Satu batang elektroda pengetanahan ditanam sejajar dengan permukaan tanah  
 Sumber: IEEE Std 142, 1991:177

Keterangan :

$2a$  = Diameter konduktor pengetanahan

$2L$  = Panjang konduktor pengetanahan

$1/2S$  = Jarak elektroda pengetanahan dengan permukaan tanah satu batang elektroda pengetanahan yang ditanam sejajar permukaan tanah mempunyai panjang  $2L$ , dan ditanam dengan kedalaman  $S/2$ , maka nilai tahanan pengetanahannya dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \right) \dots\dots\dots(2-14)$$

Parameter persamaan diatas sama dengan parameter dua batang elektroda ditanam tegak lurus permukaan tanah.

#### 2.4.2.2. Dua Batang Elektroda Ditanam Sejajar Permukaan Tanah

Untuk menghitung besarnya tahanan pengetanahan dari dua batang elektroda yang ditanam sejajar dengan permukaan tanah adalah sama dengan menghitung besarnya tahanan pengetanahan dengan penanaman empat batang elektroda yang tegak lurus dengan permukaan tanah, yang besar tahanan pengetanahannya dapat ditentukan dengan persamaan beberapa batang elektroda ditanam tegak lurus permukaan tanah, yaitu ;

$$R = \frac{P}{2\pi nL} \left[ \ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1 + 2K_1 \left(\frac{L}{\sqrt{A}}\right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right] \dots\dots\dots(2-15)$$

Parameter persamaan diatas sama dengan parameter beberapa batang elektroda ditanam tegak lurus permukaan tanah.

**2.4.2.3. Beberapa Batang Elektroda Ditanam Sejajar Permukaan Tanah**

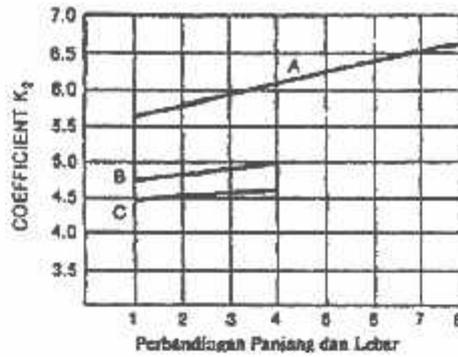
Penanaman beberapa batang elektroda yang sejajar permukaan tanah dimaksudkan untuk memperoleh tahanan pengetanahan yang sekecil mungkin dengan tegangan permukaan tanah yang merata. Dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh *Schwart* maka tahanan pengetanahan dan beberapa batang elektroda pengetanahan yang ditanam sejajar permukaan tanah adalah sebaga berikut :

$$R = \frac{P}{\pi L} \left[ \ln\left(\frac{2L}{h'}\right) + K_1 \left(\frac{1}{\sqrt{A}}\right) - K_2 \right] \dots\dots\dots(2-16)$$

Dimana

- L = Panjang total elektroda pengetanahan (m)
- h' =  $\sqrt{d \cdot h}$  Konduktor yang ditanam pada kedalaman h (m) atau
- h' = 0,5 d untuk h = 0 (konduktor pada permukaan tanah)
- h = Kedalaman konduktor yang ditanam dari permukaan tanah (m)
- d = Diameter batang elektroda (m)
- A = Luas daerah pengetanahan (m<sup>2</sup>)
- P = Tahanan jenis tanah (Ohm-m)

K<sub>1</sub> dan K<sub>2</sub> = Koefisien yang tergantung dari perbandingan, panjang dan lebar dapat ditentukan dengan menggunakan grafik 2-3 dan 2-4



Grafik 2-4.

Grafik hubungan antara  $K_2$  dengan perbandingan panjang dan lebar

Sumber: ANSI Std 80-1986: 87

Dimana

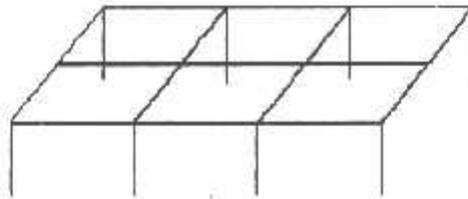
- Kurva A untuk kedalaman  $h = 0$
- Kurva B untuk  $h = \frac{1}{10}\sqrt{A}$
- Kurva C untuk  $h = \frac{1}{6}\sqrt{A}$

### 2.4.3. Pengetanahan Gabungan

Penyelesaian sistem pengetanahan pada Gardu Induk kebanyakan dengan menggunakan pengetanahan gabungan (kombinasi) dari pengetanahan kisi-kisi dan batang vertikal, karena dengan menggunakan pengetanahan gabungan didapat tahanan pengetanahan yang lebih rendah. Tetapi pada pengetanahan gabungan dengan batang vertikal dari segi ekonomis kurang menguntungkan khusus untuk areal pengetanahan yang luas sehingga pada Gardu Induk jangka penggunaan pengetanahan gabungan dengan penambahan elektroda batang vertikal hanya dilakukan jika dipandang perlu, seperti jika sebuah Gardu Induk pengetanahan *Grid*-nya telah terpasang terlebih dahulu dan pada kondisi tertentu terjadi penambahan daya pada Gardu Induk tersebut diluar dari perencanaan sehingga mengakibatkan arus hubung singkat ke tanah pada Gardu Induk menjadi bertambah.

Kenaikan arus hubung singkat ketanah ini akan menaikkan beda potensial di permukaan tanah di sekitar titik gangguan, sehingga untuk mencegah kerusakan

peralatan dan keamanan manusia didalam gardu induk dan sekitarnya, maka pada Gardu Induk ditambah pengetanahan batang vertikal yang bertujuan agar diperoleh tahanan pengetanahan lebih rendah. Gambar 2-7 memperlihatkan bentuk pengetanahan gabungan.



Gambar 2-7  
 Pengetanahan gabungan  
 Sumber. ANSI Std 80-1986: 90

Nilai tahanan pengetanahan gabungan dapat ditentukan dengan cara menentukan terlebih dahulu tahanan *Grid* ( $R_1$ ), tahanan pengetanahan *Rod* ( $R_2$ ), tahanan pengetanahan bersama ( $R_{12}$ ) atau ( $R_{21}$ ).

Tahanan Pengetanahan *Grid* ( $R_1$ )

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_1} \left[ \ln \left( \frac{2L_1}{h'} \right) + K_1 \left( \frac{L_2}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right] \dots \dots \dots (2-17)$$

Tahanan pengetanahan *Rod* ( $R_2$ )

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n L_2} \left[ \ln \left( \frac{8L_2}{d_2} \right) - 1 + 2K_1 \left( \frac{L_2}{\sqrt{A}} \right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right] \dots \dots \dots (2-18)$$

Tahanan pengetanahan bersama ( $R_{12}$ ) atau ( $R_{21}$ )

$$R_{12} = R_{21} = \frac{\rho}{\pi L_1} \left[ \ln \left( \frac{2L_1}{L_2} \right) + K_1 \left( \frac{L_1}{\sqrt{A}} \right) - K_2 + 1 \right] \dots \dots \dots (2-19)$$

Dan tahanan pengetanahan gabungan adalah

$$R = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2R_{12}} \dots \dots \dots (2-20)$$

Dimana

- $L_1$  = Panjang total elektroda pengetanahan *Grid* (m)
- $h'$  =  $\sqrt{d_1 h}$ , untuk konduktor yang ditanami pada kedalam  $h$  (m) atau
- $h$  = Kedalaman konduktor yang ditanam dari permukaan tanah (m)
- $d_1$  = Diameter elektroda pengetanahan *Grid* (m)
- $A$  = Luas daerah pengetanahan ( $m^2$ )
- $P$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-m)
- $K_1$  = Koefisien yang tergantung dari perbandingan, panjang dan lebar dapat ditentukan dengan menggunakan grafik 2-3
- $K_2$  = Koefisien yang tergantung dari perbandingan, panjang dan lebar dapat ditentukan dengan menggunakan grafik 2-4
- $L_2$  = Panjang batang elektroda pengetanahan *Rod* (m)
- $d_2$  = Diameter batang elektroda pengetanahan *Rod* (m)
- $n$  = Jumlah batang elektroda

#### 2.4.4. Pengetanahan Plat

Pengetanahan plat merupakan pengetanahan yang paling ideal namun harganya paling mahal. Penggunaan pengetanahan plat hampir semuanya dihindari mengingat biaya yang terlalu mahal sehingga dipandang kurang ekonomis. Penggunaan sistem pengetanahan plat terbatas pada pelengkap pengetanahan *Grid* untuk menunjang menurunkan tahanan pengetanahan. Bentuk umum yang dipakai pada pengetanahan plat adalah bentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang.

## BAB III

### BAHAYA YANG TIMBUL KEADAAN GANGGUAN TANAH DI GARDU INDUK

#### 3.1. Arus Melalui Tubuh Manusia

Kemampuan tubuh manusia terbatas terhadap besarnya arus yang mengalir di dalamnya. Batas-batas besarnya arus dan pengaruhnya terhadap manusia yang berbadan sehat dari penelitian para ahli adalah :<sup>[5]</sup>

1. Arus Persepsi
2. Arus Mempengaruhi Otot
3. Arus Fibrilasi
4. Arus Reaksi

##### 3.1.1. Arus Persepsi

Bila orang memegang penghantar yang diberi tegangan mulai dari harga nol akan dinaikkan sedikit demi sedikit, arus listrik yang melalui tubuh orang tersebut akan memberi pengaruh. Mula-mula akan merangsang syaraf sehingga akan terasa suatu getaran yang tidak berbahaya, bila dengan arus bolak balik. Tetapi bila dengan arus searah akan terasa sedikit panas pada telapak tangan. Pada *electrical testing laboratory*, telah dilakukan pengujian terhadap 40 orang dan didapat arus persepsi rata-rata adalah<sup>[5]</sup>

- Untuk Laki-laki : 1,1 mA
- Untuk Perempuan : 0,7 mA

### 3.1.2. Arus Mempengaruhi Otot

Bila tegangan yang menyebabkan terjadinya tingkat arus persepsi naikan maka otot-otot akan kaku sehingga orang tersebut tidak berdaya lagi untuk melepaskan konduktor yang dipegangnya itu.

Di *University of California Medical School* telah dilakukan penyelidikan terhadap 134 orang laki-laki dan 28 orang perempuan diperoleh angka rata-rata yang mempengaruhi otot sebagai berikut <sup>[5]</sup>

- Untuk laki-laki : 16 mA
- Untuk perempuan : 10,5 mA

Berdasarkan penyelidikan ini telah ditetapkan batas arus maksimum dimana orang masih dapat segera melepaskan konduktor bila terkena arus listrik <sup>[5]</sup>

- Untuk laki-laki : 9 mA
- Untuk perempuan : 6 mA

### 3.1.3. Arus Fibrilasi

Apabila arus yang melewati tubuh manusia lebih besar dari arus yang mempengaruhi otot dapat mengakibatkan orang menjadi pingsan bahkan sampai mati, hal ini disebabkan karena arus listrik tersebut mempengaruhi jantung yang menyebabkan jantung berhenti bekerja dan peredaran darah tidak jalan dan orang segera akan mati. Untuk menyelidiki nilai pendekatan suatu percobaan telah dilakukan pada *Universitas of California* oleh *Danzel* pada tahun 1968, Jagan menggunakan binatang yang mempunyai badan dan jantung yang kira-kira sama dengan manusia, dari percobaan tersebut *Danzel* menarik kesimpulan.

Bahwa 99,5% dari semua orang yang beratnya lebih kurang 50 kg masih dapat terhadap besar arus dan waktu yang ditentukan oleh persamaan sebagai berikut <sup>[5]</sup>

Dimana :

- $I_k$  = Besarnya arus lewat tubuh manusia (A)
- $t$  = Waktu arus lewat tubuh manusia atau lama gangguan tanah (detik )
- $k$  =  $\sqrt{K}$
- $K$  = 0,0135 untuk manusia dengan berat badan 50 Kg
- = 0,0246 unuk manusia dengan berat badan 70 Kg

dengan menggunakan  $K = 0,0135$  untuk berat badan 50 Kg maka

$$I_k = \frac{\sqrt{0,0135}}{\sqrt{t}} = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(3-2)$$

Dan dengan menggunakan  $K = 0,0246$  untuk berat badan 70 Kg maka

$$I_k = \frac{\sqrt{0,0246}}{\sqrt{t}} = \frac{0,157}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(3-3)$$

#### 3.1.4. Arus Reaksi

Arus reaksi adalah arus terkecil yang dapat mengakibatkan orang menjadi terkejut, hal ini berbahaya karena dapat mengakibatkan kecelakaan sampingan. Karena terkejut orang dapat jatuh dari tangga, melemparkan peralatan yang sedang dipegang yang dapat mengenai bagian-bagian instalasi bertegangan tinggi sehingga terjadi keccelakaan yang lebih fatal.

Penyelidikan terperinci telah dilakukan oleh *DR. Hans Prinz* dimana batas-batasan arus dan pengaruhnya terhadap manusia disusun seperti tabel 3-1 berikut ini <sup>15)</sup>

Besar Arus	Pengaruh Pada Tubuh Manusia
0 - 0,9 mA	Belum dirasakan pengaruhnya, tidak menimbulkan reaksi
0,9 - 1,2 mA	Baru terasa adanya arus listrik, tetapi tidak menimbulkan akibat kejang, kontraksi atau kehilangan kontrol
1,2 - 1,6 mA	Mulai terasa seakan-akan ada yang merayap di dalam tangan
1,6 - 6,0 mA 6,0 - 8,0 mA	Tangan mulai ke siku mulai kesemutan
6,0-8,0 mA	Tangan mulai kaku, rasa kesemutan mulai bertambah
13 - 15,0 mA	Rasa sakit tidak tertahankan, penghantar masih dapat melepaskan dengan gaya yang besar sekali
15 - 20,0 mA 20 - 50,0 mA	Otot tidak sanggup lagi melepaskan penghantar
20 - 50,0 mA	Dapat mengakibatkan kerusakan pada tubuh manusia
50 - 100,0 mA	Batas arus yang dapat menyebabkan kematian

Tabel 3-1

Batas-batas arus dan pengaruhnya pada tubuh manusia  
 Sumber: Hutaeruk, T. S. 1999:136

### 3.2. Tahanan Tubuh Manusia

Tahanan tubuh manusia berkisar antara 500 Ohm sampai 100.000 Ohm tergantung dari tegangan, keadaan kulit pada tempat kontak dan jalannya arus dalam tubuh. Kulit yang terdiri dari lapisan tanduk mempunyai tahanan yang tinggi, tetapi terhadap tegangan tinggi kulit yang menyentuh konduktor langsung terbakar, jadi tahanan kulit ini tidak berarti apa-apa, sehingga hanya tahanan tubuh yang dapat membatasi arus. Dari penyelidikan beberapa ahli diperoleh tahanan tubuh manusia seperti ditunjukkan pada tabel 3-2 berikut ini:

Penelitian	Tahanan (Ohm)	Keterangan
Dalziel	500	Dengan tegangan 60 cps
AIEE Committee Report 195	2.330	Dengan tegangan 21 volt tangan ketangan $I_K = 9$ ma
	1.130	Tangan ke kaki
	1.680	Tangan ketangan dengan arus searah
	800	Tangan ke kaki dengan 50 cps
Laurent	3.000	

Tabel 3 - 2

Berbagai harga tahanan tubuh manusia  
Sumber: Hutaaruk, T. S. 1999: 137

Berdasarkan penelitian diatas sebagai pendekatan diambil harga tahanan tubuh manusia sebesar 1000 ohm.

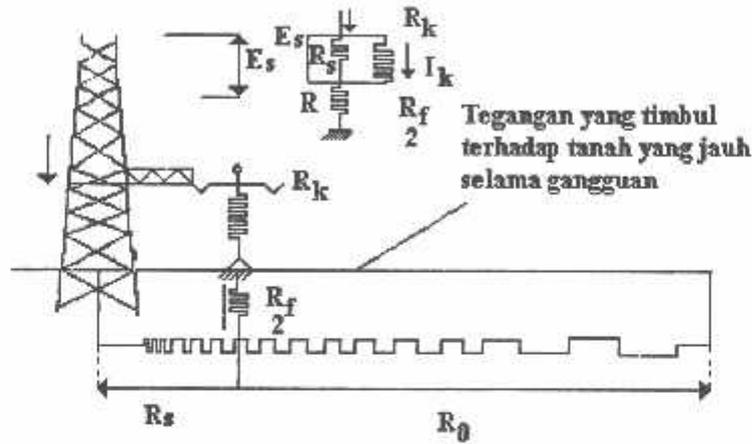
### 3.3. Bahaya Tegangan Yang Timbul Pada Saat Gangguan Tanah

Pada sistem tegangan tinggi sering terjadi kecelakaan terhadap manusia, dalam hal ini terjadi kontak langsung atau dalam hal manusia berada di dalam atau daerah yang mempunyai gradien tegangan yang tinggi, sebenarnya yang menyebabkan bahaya-bahaya tersebut adalah tegangan dan kondisi orang terhadap tegangan tersebut serta besarnya arus yang mengalir dalam tubuh manusia.

Pada Gardu Induk kemungkinan terjadinya bahaya terutama disebabkan salah timbulnya gangguan yang menyebabkan arus mengalir ke tanah. Arus gangguan ini akan mengalir pada bagian-bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah disekitar Gardu Induk. Arus gangguan tersebut menimbulkan gradien tegangan di antara peralatan dengan peralatan, Peralatan dengan tanah dan juga gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri. Beberapa kemungkinan terjadinya tegangan dan kondisi orang yang sedang berada di dalam dan disekitar Gardu Induk adalah :

### 3.3.1. Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat diantara suatu obyek yang disentuh dan suatu titik yang berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa obyek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pengetanahan yang berada di bawahnya. Terjadinya tegangan sentuh dapat di gambarkan seperti gambar 3-1



Gambar 3-1  
Tegangan sentuh dan rangkaian penggantinya  
Sumber : Hutauruk, T. S. 1999:130

Tegangan sentuh maksimum sebenarnya terjadi tidak boleh melebihi tegangan sentuh yang diijinkan yang besarnya masing-masing dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

#### 3.3.1.1. Tegangan Sentuh Yang Diijinkan

Dengan menggunakan rangkaian pengganti seperti pada gambar 3-1 maka besarnya tegangan sentuh yang diijinkan adalah <sup>[5]</sup>

$$E_s = (R_k + R_{2fp}) \times I_k$$

Dimana:

$$R_{2fp} = \frac{R_f \times R_f}{R_f + R_f} = R_f / 2$$

Maka

$$E_s = (R_k + R_f / 2) \times I_k \dots \dots \dots (3-4)$$

Dimana

- $E_s$  = Tegangan sentuh (Volt)
- $R_K$  = Tahanan badan orang (1000 Ohm)
- $R_F$  = Tahanan kontak ketanah dari satu kaki (Ohm)
- $R_F / 2$  = Tahanan kontak kaki dengan tanah dalam paralel (Ohm)
- $I_K$  = Besarnya arus yang melalui badan (Ampere)

Sebagai pendekatan diambil harga tahanan tubuh manusia sebesar  $R_K = 10000$  Ohm. Dan tahanan kontak kaki dengan tanah dalam hubungan paralel menurut persamaan 2-8 adalah  $R_{2FP} = R_F / 2 = 1,5 C_S (h_s, K) \cdot p_s$ . Sedangkan besarnya arus melalui badan manusia untuk berat badan 50 kg menurut persamaan 3-2 adalah  $I_K = \frac{0,116}{\sqrt{t}}$  dan untuk berat badan 70 kg menurut persamaan 3-3 adalah  $I_K = \frac{0,157}{\sqrt{t}}$  dengan parameter diatas persamaan 3-4 menjadi :<sup>[7]</sup>

- Untuk berat badan 50 kg

$$E_s = (1000 + 1,5 \times C_S (h_s, K) \times p_s) \times \frac{0,116}{\sqrt{t}} \dots \dots \dots (3-5)$$

- Untuk berat badan 70 kg

$$E_s = (1000 + 1,5 \times C_S (h_s, K) \times p_s) \times \frac{0,157}{\sqrt{t}} \dots \dots \dots (3-6)$$

Dimana :

- $C_S$  = Faktor reduksi dapat ditentukan dengan cara memplot grafik 2-2
- $P_s$  = Tahanan jenis permukaan tanah dengan lapisan tanah liat (Ohm-m)

Adapun tegangan sentuh yang diijinkan dan lama gangguan seperti ditunjukkan pada tabel 3-3 berikut ini :

Lama gangguan (t) (Detik)	Tegangan sentuh yang diijinkan(Volt)
0.1	1.980
0.2	1.400
0.3	1.140
0.4	990
0.5	890
1.0	626
2.0	443
3.0	362

Tabel 3-3  
Tegangan sentuh yang diijinkan dan lama gangguan  
Sumber: Hutaeruk, T. S. 1999: 131

### 3.3.1.2. Tegangan Sentuh Maksimum Sebenarnya (*Mesh*)

Tegangan *mesh* adalah tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegangan sentuh yang dapat dijumpai dalam system pengetanahan Gardu Induk sehingga tegangan inilah yang diambil sebagai tegangan untuk disain yang aman. Bessarnya tegangan *mesh* yang terjadi pada kondisi gangguan dapat di tentukan dengan persamaan :

$$E_{mesh} = K_m \cdot K_{m1} \cdot \rho \cdot \frac{I_{fg}}{L} \dots \dots \dots (3-7)$$

Dimana :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D^2 + 2h)}{6Dh} + \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{i1}}{K_b} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right] \dots \dots \dots (3-8)$$

$K_{m1}$  = Koefisien yang didapat dari nomer, jarak, diameter, dan kedalaman tahanan tanah

$K_{i1}$  = Faktor koreksi untuk ketidak merataan arus =  $0,656 + 0,172n$

$n$  = Nomer konduktor kisi-kisi utama

$$n = \sqrt{n_a \cdot n_b}$$

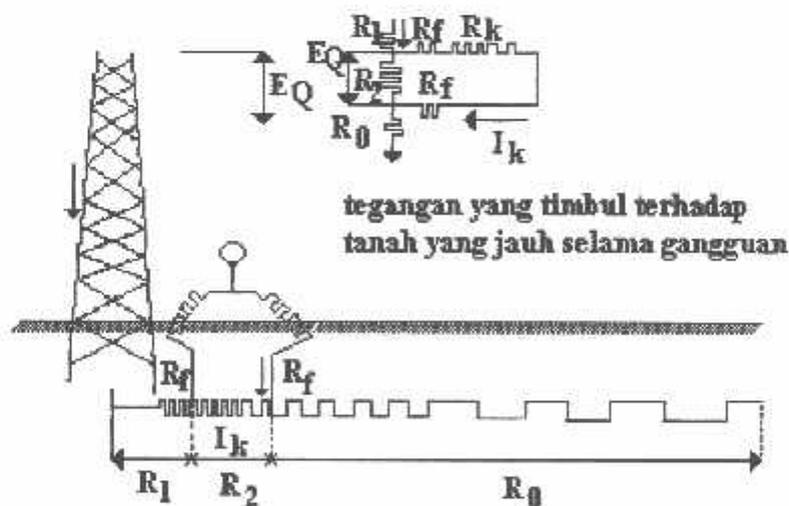
$n_a$  = Nomer konduktor kisi-kisi utama

$n_b$  = Nomer konduktor kisi-kisi melintang

- $\rho$  = Tahanan jenis tanah ( Ohm-m)
- $I_{fg}$  = Arus gangguan tanah maksimum (Ampere)
- $L = L_c + 1,15L_r$  ( untuk pengetanahan gabungan *Grid* dan *Rod* )
- $L_c$  = Panjang total konduktor pengetanahan *Grid* (m)
- $L_r$  = Panjang total konduktor pengetanahan *Rod* (m)
- $h$  = Kedalaman penghantar tanah (m)
- $D$  = Jarak *mesh* (m)
- $d$  = Diameter konduktor pengetanahan (m)
- $K_{ii}$  = Faktor koreksi  $\frac{1}{(2n)^{2,2}}$
- $K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$ ,  $h_0 = 1 \text{ meter}$  ( referensi kedalaman *mesh* )

### 3.4. Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul diantara dua kaki orang yang sedang berdiri diatas tanah dan sedang dialiri arus gangguan ketanah. Dalam hal ini diasumsikan jarak antara kedua kaki adalah 1 meter dan diameter kaki dimisalkan 8 cm dalam keadaan tidak memakai sepatu. Terjadinya tegangan langkah dapat digambarkan seperti gambar 3-2



Gambar 3-2  
Tegangan langkah dan rangkaian penggantinya  
Sumber: Hutaaruk, T. S. 1999: 132

tegangan langkah sebenarnya yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan langkah yang diijinkan yang besarnya masing-masing dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

### 3.4.1. Tegangan Langkah Yang Diijinkan

Dengan menggunakan rangkaian pengganti seperti pada gambar 3-2 jika besarnya tegangan langkah yang diijinkan adalah <sup>[5]</sup>

$$E_l = (R_K + R_{2FS}) I_K \dots\dots\dots(3-9)$$

Dimana :

$$R_{2FS} = R_F + R_F = 2R_F$$

Maka :

$$E_L = (R_K + 2R_F) x I_K \dots\dots\dots(3-10)$$

Dimana :

- $E_L$  : Tegangan langkah (V)
- $R_K$  : Tahanan badan orang (1000 Ohm)
- $R_F$  : Tahanan kontak ketanah dari satu kaki (Ohm)
- $R_{2FS}$  : Tahanan kontak kaki dengan tanah dalam hubungan seri (Ohm)
- $I_K$  : Besarnya arus yang melalui badan (A)

bagai pendekatan diambil harga tubuh manusia sebesar  $R_K = 1000$  Ohm. Dan tahanan kontak kaki dengan tanah dalam hubungan seri menurut persamaan 2 adalah  $R_{2FP} = 2R_F - 6 C_s(h_s, K) x p_s$ . Dengan parameter diatas dan dengan menggunakan persamaan 3-2 dan 3-3 maka persamaan 3-6 menjadi : <sup>[7]</sup>

- Untuk Berat Badan 50 kg

$$E_L = (1000 + 6 x C_s(h_s, K) x p_s) x \frac{0,116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(3-11)$$

- Untuk Berat Badan 70 kg

$$E_t = (1000 + 6 \times C_s (h_s, K) \times p_s) \times \frac{0,157}{\sqrt{t}} \dots \dots \dots (3-12)$$

Dimana :

- $C_s$  = Faktor reduksi dapat ditentukan dengan cara memplot grafik 2-2
- $p_s$  = Tahanan jenis permukaan tanah tanpa lapisan koral (Ohm-m)

Tegangan langkah yang diijinkan dan lama gangguan adalah :

Lama gangguan (t) (Detik)	Tegangan langkah yang diijinkan (Volt)
0,1	7.000
1,2	4.950
0,3	4.040
0,4	3.500
0,5	3.140
1,0	2.216
2,0	1.560
3,0	1.280

Tabel 3-4

Tegangan langkah yang diijinkan dan lama gangguan  
 Sumber: Hutauruk, T. S, 1999: 133

### 3.4.1.1. Tegangan Langkah Sebenarnya

Tegangan langkah maksimum sebenarnya adalah perbedaan tegangan langkah terdapat diantara kedua kaki bila manusia berjalan diatas tanah sistem pengetanahan pada keadaan terjadinya arus gangguan ketanah. Tegangan langkah maksimum sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$E_{tm} = K_s K_p \frac{I_g}{L} \dots \dots \dots (3-13)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{1+2}) \right) \dots \dots \dots (3-14)$$

Dimana :

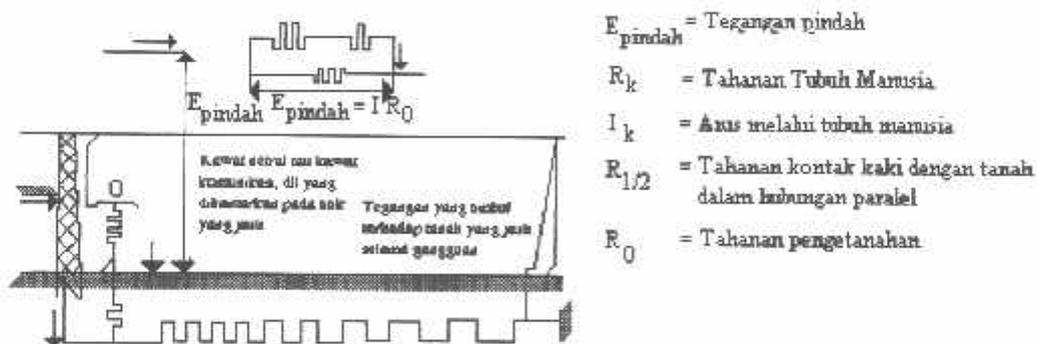
- $E_{tm}$  = Tegangan langkah maksimum sebenarnya (V)
- $K_s$  = Koefisien yang didapat dari perhitungan nomer, jarak, diameter dan

kedalaman tahanan kawat tanah.

- $K_s$  = Faktor koreksi untuk ketidak merataan arus =  $0,65 + 0,172n$
- $n$  = Nilai maksimum (  $n_a ; n_b$  )
- $P$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-m)
- $I_{fg}$  = Arus gangguan tanah maksimum (A)
- $L$  =  $L_C + 1,5 L_r$  ( untuk pengetanahan *Grid* dan *Rod* )
- $L_C$  = Panjang total konduktor pengetanahan *Grid* (m)
- $L_r$  = Panjang total konduktor pengetanahan *Rod* (m)
- $h$  = Kedalaman konduktor pengetanahan tanah ( m )
- $D$  = Jarak antar konduktor (m)
- $d$  = Diameter konduktor *Grid* (m)

### 3.5. Tegangan Pindah

Tegangan pindah adalah hal khusus dari tegangan sentuh, dimana tegangan ini terjadi karena kesalahan orang berdiri di dalam Gardu Induk, dan menyentuh suatu peralatan yang diketenhakan pada titik jauh sedangkan alat tersebut dialiri oleh arus gangguan ketanah. Terjadinya tegangan pindah dapat di gambarkan seperti gambar 3-3.



Gambar3-3  
Tegangan pindah dan rangkaian penggantinya  
Sumber: Hutahuruk, T.S 1999; 132

Dari gambar diatas terlihat bahwa orang akan merasakan tegangan yang lebih besar bila dibandingkan dengan tegangan sentuh, tegangan pindah akan sama dengan tegangan pada tahanan kontak pengetanahan total. Tegangan pindah

itu sulit untuk dibatasi, tetapi biasanya konduktor-konduktor telanjang yang terjangkau oleh tangan manusia telah diisolasi.

Dari gambar 3-3 besarnya tegangan pindah adalah <sup>[5]</sup>

$$E_{pindah} = I_{fg} \cdot R_0 \dots \dots \dots (3-15)$$

Dengan anggapan  $I_K \leq I$  sebab  $R_f 2 + R_K \geq R_0$

Dimana

$I_{fg}$  = Arus gangguan (A)

$R_0$  = Tahanan pengetanahan (Ohm)

### 3.5.1. Arus Hubung Singkat Kestanah

Didalam merancang sistem pengetanahan Gardu Induk salah satu faktor yang harus diperhatikan adalah nilai dari arus hubung singkat kestnahan atau arus gangguan kestnahan. Sedangkan arus gangguan tanah dipengaruhi oleh metode pengetanahan sistem yang digunakan, untuk sistem yang netral jika diketanahkan dengan metode pengetanahan sistem melalui tahanan. Arus gangguan kestnahan besarnya mencapai <sup>[5]</sup>

$$I_{fg} = (100\% - 25\%) I_{SC3\phi} \dots \dots \dots (3-16)$$

Sedangkan sistem yang netralnya diketanahkan dengan metode pengetanahan sistem melalui reactor dan pengetanahan efektif. Arus gangguan kestnahan besarnya mencapai <sup>[5]</sup>

$$I_{fg} = (25\% - 60\%) I_{SC3\phi} \dots \dots \dots (3-17)$$

Dimana :

$I_{fg}$  = Arus gangguan kestnahan (A)

$I_{sc3\phi}$  = Arus hubung singkat tiga-fasa (A)

Arus gangguan hubung singkat tiga fasa merupakan arus gangguan simetris yang terjadi jika antara fasa a, b dan c yang simetris terhubung singkat, yang mengakibatkan arus mengalir pada ketiga fasa tersebut sama dan simetris.

Dengan mengetahui daya hubung singkat tiga-fasa maka arus hubung singkat tiga fasa dapat ditentukan :<sup>[8]</sup>

$$I_{sc3\phi} = \frac{MVA_{sc3}}{\sqrt{3} \cdot KV_{nominal} \cdot 10^{-3}} \dots\dots\dots(3-18)$$

Dimana :

$MVA_{sc3\phi}$  = Daya hubung smgkat tiga-fasa (MVA)

$I_{sc3\phi}$  = Arus hubung singkat tiga-fasa (kA)

$KV_{nominal}$  = Tegangan nominal sistem (kV)

### 3.6. Konduktor Pengetanahan

Bahan konduktor yang akan digunakan untuk elektroda pengetanahan harus mempunyai persyaratan berikut : (Elektro Indonesia, 1998; 4)

1. Memiliki daya hantar jenis (*Conductivity*) yang cukup besar sehingga tidak akan memperbesar beda potensial lokal yang berbahaya.
2. Memiliki kekerasan (kekuatan) secara mekanis pada tingkat yang tinggi terutama bila digunakan pada daerah yang tidak terlindungi terhadap kerusakan fisik.
3. Tahan terhadap peleburan dari keburukan sambungan listrik, walaupun konduktor tersebut akan terkena arus gangguan dalam waktu yang lama.
4. Tahan terhadap korosi.

Persyaratan ini bertujuan agar konduktor pengetanahan yang tertanam dapat diandalkan untuk waktu yang cukup lama. Jenis konduktor yang paling banyak digunakan adalah konduktor lilit dari tembaga agar diperoleh sifat mekanis dan listrik yang baik. Sedangkan baja yang berlapis tembaga pada umumnya digunakan untuk pengetanahan batang (*Rod*).

### 3.6.1. Ukuran Konduktor Pengetanahan

Ukuran dari konduktor pengetanahan harus cukup besar agar konduktor pengetanahan mampu menahan panas yang disebabkan oleh arus gangguan ke tanah karena fungsi dari konduktor pengetanahan adalah untuk mengalirkan arus gangguan ketanah. Dengan menggunakan persamaan kapasitas arus untuk elektroda tembaga yang dikembangkan oleh *Onderdonk's* maka besar ukuran konduktor tembaga untuk pengetanahan adalah

$$A = \frac{I_{fg}}{\sqrt{\log_{10} \left( \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} \right) + 1}} \dots \dots \dots (3-19)$$

Dimana :

- A = Penampang konduktor (*circular mils*) ( $1\text{CM} = 0,0005065 \text{ mm}^2$ )
- $I_{fg}$  = Arus gangguan tanah maksimum (A)
- T = Lamanya gangguan (detik)
- $T_m$  = Suhu maksimum konduktor yang diijinkan ( $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ )
  - Untuk sambungan dengan cara pengelasan  $T_m = 450 \text{ }^\circ\text{C}$
  - Untuk sambungan dengan cara baut  $T_m = 250 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_a$  = Suhu sekeliling tahanan maksimum ( $^\circ\text{C}$ )

Dari persamaan diatas terlihat bahwa besarnya luas penampang konduktor tembaga untuk pengetanahan tergantung pada beberapa factor diantaranya arus gangguan tanah, lamanya gangguan, temperatur sekeliling pengetanahan. Ukuran minimum konduktor pengetanahan berdasarkan lamanya gangguan dapat ditentukan dengan menggunakan tabel 3-5.

Waktu Gangguan (Detik)	Circular mils per Ampere			
	Konduktor Tembaga	40% CWD	Tembaga Sambungan Pengelasan	Tembaga Sambungan Baut
30	40	47	50	65
4	14	17	20	24
1	7	8,5	10	12
0,5	5	6	6,5	8,5

Tabel 3-5

Ukuran minimum konduktor tembaga untuk pengetanahan  
Sumber: Sverak, J.G, IEEE, No 1 Januari 1981:53

### 3.6.2. Panjang Minimum Konduktor

Kebutuhan akan konduktor pengetanahan pada umumnya baru diperkirakan setelah diketahui tataletak peralatan yang akan diketanahkan serta sistem yang digunakan. Pada sistem pengetanahan *Grid* konduktor pengetanahan ditanam sejajar satu yang lain dengan beberapa hubungan melintang sehingga berbentuk sebuah *Grid*, hubungan semacam ini memudahkan kita didalam menghubungkan peralatan yang akan diketanahkan kesistem pengetanahan.

Panjang konduktor minimum yang diperlukan dalam sistem pengetanahan *Grid* didasarkan pada besarnya tegangan sentuh yang timbul saat gangguan tanah, dimana tegangan sentuh yang timbul tidak melebihi batas dari tegangan sentuh yang diijinkan. Penggunaan tegangan sentuh sebagai referensi untuk menentukan panjang konduktor didasarkan pada pemikiran bahwa tegangan langkah yang terjadi pada gardu induk umumnya lebih kecil tegangan sentuh, selain itu proses terjadinya tegangan langkah mengakibatkan tahanan tanah tepat dibawah kaki ( $R_f$ ) cenderung membentuk hubungan seri sehingga lebih efektif didalam membatasi arus yang mengalir melalui tubuh manusia. Panjang Konduktor minimal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 3-5 tegangan sentuh yang diijinkan dengan persamaan 3-7 tegangan sentuh sebenarnya.

$$E_S > E_{Mesh}$$

$$(1000 + 1,5C_s(H_c, K)ps) \frac{0,166}{\sqrt{t}} > K_m K_i p \frac{I_{fe}}{L}$$

$$L > \frac{K_m \cdot K_i \cdot p \cdot I_{fg} \cdot \sqrt{t}}{116 + 0,174 C_s (h_s \cdot K) p_s} \dots\dots\dots(3-20)$$

Dimana

- L = Panjang total konduktor pengetanahan (m)
- C<sub>s</sub> = Faktor reduksi dapat di tentukan dengan cara memplot grafik 2-2
- p<sub>s</sub> = Tahanan jenis permukaan tanah dengan lapisan koral (Ohm-m)
- K<sub>m</sub> = Koefisien yang didapat dan nomer, jarak, diameter, dan kedalaman tanah
- p = Tahanan jenis tanah (Ohm-m)
- I<sub>fg</sub> = Arus gangguan tanah maksimum (A)
- t = Lama waktu gangguan (detik)

### 3.7. Spesifikasi Data Sistem Pengentanahan Peralatan Gardu Induk

Dalam menganalisis sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk terlebih dahulu harus diketahui data yang di gunakan dalam perhitungan, yaitu :

1. Tataletak pengetanahan peralatan
2. Spesifikasi konduktor pengetanahan serta luas pengetanahan
3. Penyambungan konduktor pengetanahan
4. Tahanan jenis tanah
5. Beban yang tercapai
6. Daya hububung singkat tiga-fasa simetris
7. Waktu penghapusan gangguan

#### 3.7.1. Tataletak Pengetanahan Peralatan

Tata letak peralatan dalam Gardu Induk sangat berpengaruh terhadap luas pengetanahan disamping itu tataletak perataan berpengaruh terhadap luas areal tanah di Gardu Induk. Dari gambar lapisan tataletak pengetanahan peralatan Gardu Induk Blimbing dapat diketahui bahwa jenis pengetanahan yang digunakan adalah jenis pengetanahan *Grid* dan *Rod*.

#### 3.6.2. Spesifikasi Konduktor Pengetanahan Serta Luas Pengetanahan

Spesifikasi konduktor pengetanahan yang digunakan untuk pengetanahan *Grid* di Gardu Induk Blimbing adalah konduktor jenis tembaga dengan konstruksi kawat berlilit HDCC (*Hard Draw Cooper Stranded Conductor*) yang dengan luas penampang konduktor  $100 \text{ mm}^2$  serta diameter konduktor 13,0 mm. Konduktor pengetanahan tersebut ditanam pada kedalaman 0,8 m dibawah permukaan tanah. Sedangkan dari gambar tataletak pengetanahan peralatan di Gardu Induk Blimbing dapat ditentukan luas pengetanahan berikut :

$$\text{- Luas I} = 5967 \text{ m}^2$$

$$\text{- Luas II} = 573,3 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka luas pengetanahan Gardu Induk Blimbing} = 6540,3 \text{ m}^2$$

### 3.7.2. Penyambungan Konduktor Pengetanahan

Sabungan yang digunakan untuk menghubungkan peralatan dengan adanya konduktor penghubung dan konduktor dengan pengetanahan *Grid* di Gardu Induk Blimbing adalah dengan cara berbeda, untuk sambungan antara peralatan dengan konduktor penghubung menggunakan klem dan antara konduktor penghubung dengan pengetanahan *Grid* menggunakan sambungan las (*Cad weld*).

### 3.7.3. Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah tempat dibangunnya Gardu Induk Blimbing berdasarkan hasil pengukuran mempunyai nilai 74,2 Ohm-m, dengan asumsi tahanan jenis tanah tersebut unifrom.

### 3.7.4. Nilai Beban Trafo Pada Gardu Induk

Nilai beban trafo tertinggi pada tahun 2002 tercapai 32,4 MW dalam 1 trafo 30 MVA untuk memikul beban 32,4 MW, jelas tidak mampu maka di tambah 1 trafo 30 MVA sehingga mempunyai total 60 MW (trafo 3 dan 4). Apabila salah satu trafo dipelihara untuk trafo lainnya akan tidak mampu dibebani 32,4 MW. Dengan perhitungan beban tersebut Gardu Induk Blimbing perlu ditambah trafo daya 30 MVA atau trafo tersebut diganti dengan daya yang lebih besar (50 MW).

### 3.6.6. Nilai Daya Hubung Singkat Tiga-fasa Gardu Induk Blimbing.

Dari data PT. PLN (Persero) P3B Region Jawa Timur dan Bali UPT Malang bahwa nilai daya hubung singkat tiga-fasa untuk Gardu Induk Blimbing sebelum terjadi penambahan daya 1527,62 MVA, sedangkan setelah penambahan daya adalah sebesar 2390,16 MVA.

#### **3.7.5. Waktu Penghapusan Gangguan**

Waktu yang digunakan untuk menghapus atau melokalisir gangguan yang sifatnya permanen yang terjadi di Gardu Induk Blimbing adalah sebesar 0,5 detik.

## BAB IV

### ANALISIS PENGARUH ARUS HUBUNGAN SINGKAT SIMETRIS TERHADAP SISTEM PENGETANAHAN DI GARDU INDUK BLIMBING

#### 4.1. Analisis Sistem Pengetanahan Saat Terjadi Arus Hubungan singkat Simetris ketanah Di Gardu Induk Blimbing

Analisis sistem pengetanahan peralatan pada Gardu Induk meliputi perhitungan :

1. Arus Hubung Singkat Tiga-fasa Simetris
2. Arus Gangguan Satu-fasa Ketanah
3. Luas Penampang Konduktor Pengetanahan Minimum
4. Tahanan Pengetanahan
5. Tegangan Sentuh
6. Tegangan Langkah

##### 4.1.1. Arus Hubung Singkat Tiga-fasa Simetris

Dengan menggunakan persamaan 3-18 nilai arus hubung singkat tiga-fasa simetris adalah :

$$I_{SC3\phi} = \frac{MVA_{SC3\phi}}{\sqrt{3 \cdot KV_{nominal} \cdot 10^{-3}}}$$

Dimana

$$MVA_{SC3} = 1527,62 \text{ MVA}$$

$$KV_{nominal} = 150 \text{ kV}$$

$$I_{SC3\phi} = \frac{1527,62}{\sqrt{3 \cdot 150 \cdot 10^{-3}}}$$

$$= 5879,815 \text{ A}$$

#### 4.1.2. Arus Hubung Singkat Satu-fasa Ketaanah

Perhitungan arus hubung singkat satu-fasa ketaanah (arus gangguan tanah) yang dicari hanya pada sisi tegangan tinggi 150 kV, karena nilai arus gangguan yang terbesar terjadi pada sisi tegangan tinggi 150 kV. Dengan menggunakan persamaan 3-16 nilai arus gangguan satu-fasa ketaanah adalah:

$$I_{fg} = (10\%-25\%) \cdot I_{SC3\phi}$$

Dimana

$$I_{SC3\phi} = 5879,815 \text{ A}$$

Maka

$$\begin{aligned} I_{fg} &= 25\% \cdot 5879,815 \\ &= 1469,954 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4.1.3. Luas Penampang Konduktor Pengetanahan Minimum

Dengan menggunakan persamaan 3-19 luas penampang konduktor pengetanahan minimum dapat di tentukan yaitu :

$$A = \frac{I_{SC3\phi}}{\sqrt{\log_{10} \left[ \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right] \cdot 33 \cdot t}}$$

Dimana:

$$I_{fg} = 5879,815 \text{ A}$$

$$t = 3 \text{ detik (untuk faktor keamanan nilai t diambil 3 detik)}$$

$$T_m = 450 \text{ }^\circ\text{C (untuk kisi-kisi pengetanahan dengan sabungan las)}$$

$$T_a = 40^\circ\text{C (suhu maksimum sekeliling tanah)}$$

Maka

$$A = \frac{5879,815}{\sqrt{\log_{10} \left[ \frac{450 - 40}{234 - 40} + 1 \right] \cdot 33 \cdot 3}}$$

$$\begin{aligned}
&= 92815,17 \text{ Circular mils (1CM} = 0,0005065 \text{ mm}^2) \\
&= 47,01 \text{ mm}^2 \\
A &= \pi \cdot r^2 \\
r^2 &= \frac{\sqrt{47,01}}{3,14} \\
d &= 2 \cdot r \\
&= 7,74 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Maka dalam analisis digunakan  $A = 47 \text{ mm}^2$  dan diameter  $7,74 \text{ mm}$ .  
Sedangkan berdasarkan data digunakan  $A = 100 \text{ mm}^2$  dan diameter  $13,0 \text{ mm}$

#### 4.1.4. Tahanan Pengetanahan

Nilai tahanan pengetanahan *Grid* ( $K_1$ ) Dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2-17 yaitu :

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \left[ \ln \frac{2L}{h} + K_1 \left( \frac{L}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right]$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
L &= 1603,8 \text{ m} \\
A &= 6540,3 \text{ m}^2 \text{ (luas area pengetanahan peralatan Gardu Induk)} \\
\rho &= 74,2 \text{ Ohm-m} \\
d &= 13,0 \cdot 10^{-3} \text{ m (berdasarkan data)} \\
&= 7,74 \cdot 10^{-3} \text{ m (berdasarkan analisis)} \\
h &= 0,8 \text{ m} \\
h' &= \sqrt{d \cdot h} \\
&= \sqrt{13,0 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8} = 0,102 \\
&= \sqrt{7,74 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8} = 0,079 \\
K_1 &= 1,37 \text{ (dari garftk 2-3, kurva A)} \\
K_2 &= 5,7 \text{ (dari garftk 2-4, kurva A)}
\end{aligned}$$

Maka

- Berdasarkan Analisis

$$R_s = \frac{74,2}{3,14 \cdot 1603,8} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 1603,8}{0,079} \right) + 1,37 \left( \frac{1603,8}{\sqrt{6540,3}} \right) - 5,7 \right]$$
$$= 0,441 \text{ Ohm}$$

#### 4.1.5. Tegangan Sentuh

Perhitungan tegangan sentuh meliputi perhitungan tegangan sentuh yang diijinkan dan perhitungan tegangan sentuh maksimum sebenarnya, nilai tegangan sentuh tersebut adalah

##### 4.1.5.1. Tegangan Sentuh Yang Diijinkan

Tegangan sentuh yang diijinkan dapat di tentukan dengan menggunakan persamaan 3-5 dan persamaan 3-6 yaitu :

- Untuk berat badan 50 kg

$$E_s = (1000 + (1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s)) \frac{0,116}{\sqrt{t}}$$

- Untuk berat badan 70 kg

$$E_s = (1000 + (1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s)) \frac{0,157}{\sqrt{t}}$$

Dimana:

$$P_s = 300 \text{ Ohm-m}$$

$$t = 0,5 \text{ detik}$$

$$C_s = 0,7 \text{ (diperoleh dengan memplot grafik 2-2) dengan menentukan}$$

$$h_s = 0,1 \text{ m (ketebalan lapisan koral)}$$

Maka

- Untuk berat badan 50 kg

$$E_s = (1000 + (1,5 \cdot 0,7 \cdot 300)) \frac{0,116}{\sqrt{0,5}}$$

$$= 215,66 \approx 216 \text{ Volt}$$

- Untuk berat badan 70 kg

$$E_s = (1000 + (1,5 \cdot 0,7 \cdot 300)) \frac{0,157}{\sqrt{0,5}}$$

$$= 239 \text{ Volt}$$

#### 4.1.5.2. Tegangan Sentuh Maksimum Sebenarnya

Nilai tegangan sentuh maksimum sebenarnya dapat di tentukan dengan menggunakan persamaan 3-7 yaitu :

$$E_{s_{mesh}} = K_m \cdot K_{mi} \cdot \rho \cdot \frac{I_{fg}}{L}$$

Dimana :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D^2 + 2h)}{6Dh} + \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_a}{K_b} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

$$D = 10 \text{ m}$$

$$H = 0,8 \text{ m}$$

$$D = 13,0 \cdot 10^{-3} \text{ m (berdasarkan data)}$$

$$= 7,74 \cdot 10^{-3} \text{ m (berdasarkan analisis)}$$

$$n = \sqrt{n_a \cdot n_b} \quad ; n_a = 9 ; n_b = 10$$

$$n = \sqrt{9 \cdot 10} = 9,4868$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} = \frac{1}{(2 \cdot 9,4868)^{2/9,4868}} = 0,5377$$

$$K_b = \sqrt{1 + \frac{h}{h_o}} ; h_o = 1 \text{ meter (referensi kedalaman mesh)}$$

$$= \sqrt{1 + \frac{0,8}{1}} = 1,3416$$

Maka nilai parameter  $K_m$  untuk kondisi lapangan dan hasil analisis adalah :

$$K_m = \frac{1}{2,3,14} \left[ \ln \left( \frac{10^2}{16,0,8,7,74 \cdot 10^{-3}} + \frac{(10 + (2,0,8))^2}{6 \cdot 10,0,8} + \frac{0,8}{4,7,7 \cdot 10^{-3}} \right) + \frac{0,5377}{1,3416} \ln \frac{8}{3,14(2,9,4868 - 1)} \right] - 1 \text{ (berdasarkan analisis)}$$

Dimana

$$K_{m,t} = 0,656 + 0,172 \cdot n = 0,656 + 0,172 \cdot 9,4868 = 2,29$$

$$P = 74,2 \text{ Ohm-m}$$

$$I_{fg} = 1469,953 \text{ A}$$

$$L = 1603,8 \text{ m (untuk jenis pengetanahan Grid)}$$

Maka

- Berdasarkan Analisis

$$E_{mesh} = 1 \times 2,29 \times 74,2 \frac{1469,959}{1603,8}$$

$$= 155,73 \approx 156 \text{ Volt}$$

#### 4.1.6. Tegangan Langkah

Perhitungan tegangan langkah meliputi perhitungan tegangan langkah yang diijinkan dan perhitungan tegangan langkah sebenarnya, nilai tegangan langkah tersebut adalah

##### 4.1.6.1. Tegangan Langkah Yang Diijinkan

Nilai tegangan langkah yang diijinkan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 3-11 dan persamaan 3-12 yaitu :

- Untuk Berat Badan 50 kg

$$E_l = (1000 + (6 \cdot C_s \cdot p_s)) \times \frac{0,116}{\sqrt{t}}$$

$$\begin{aligned}
D &= 10\text{m} \\
n &= \sqrt{n_a \cdot n_b} \quad (\text{maksimum ; } n_a = 9, n_b = 10) \\
&= \sqrt{9 \cdot 10} = 9,4868 \\
K_s &= \frac{1}{3,14} \left( \frac{1}{2,08} + \frac{1}{10 + 0,8} + \frac{1}{10} (1 - 0,5^{9,4868 - 2}) \right) \\
\rho &= 74,2 \text{ Ohm-m} \\
L &= 1603,8 \text{ m} \\
I_{\text{g}} &= 1469,959 \text{ A}
\end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned}
E_{\text{lm}} &= 0,259 \times 2,287 \times 74,2 \times \frac{1469,959}{1603,8} \\
&= 40,3 \approx 40 \text{ Volt}
\end{aligned}$$

#### **4.2. Tinjauan Hasil Perhitungan Sistem Pengetanahan Saat Terjadi Arus Hubungan Singkat Simetris Kitanah Di Gardu Induk Blimbing**

Secara keseluruhan pada hasil perhitungan, sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk Blimbing sebelum adanya arus hubungan simetris masih memenuhi persyaratan keamanan karena tegangan sentuh maksimum yang sebenarnya ( $E_{\text{mesh}} = 156 \text{ V}$ ) lebih kecil dari tegangan sentuh yang diijinkan ( $E_S = 216 \text{ V}$ ).

#### **4.3. Analisis Sistem Pengetanahan Sesudah Terjadi Arus Hubungan singkat Simetris kitanah Di Gardu Induk Blimbing**

Dengan adanya hubungan singkat pada Gardu Induk Blimbing maka nilai perhitungan yang mengalami perubahan dari analisis sebelum terjadi hubungan singkat simetris adalah

#### 4.3.1. Arus Hubung Singkat Tiga-fasa Simetris

Dengan menggunakan persamaan 3-18 nilai arus hubung singkat tiga-fasa simetris adalah

$$I_{SC3\phi} = \frac{MVA_{SC3\phi}}{\sqrt{3} \cdot KV_{nominal} \cdot 10^{-3}}$$

Dimana

$$MVA_{SC3\phi} = 2390,16 \text{ MVA}$$

$$KV_{nominal} = 150 \text{ KV}$$

Maka

$$\begin{aligned} I_{SC3\phi} &= \frac{2390,16}{\sqrt{3} \cdot 150 \cdot 10^{-3}} \\ &= 9199,7 \approx 9200 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4.3.2. Arus Hubung Singkat Satu-fasa Kctanah

Dengan menggunakan persamaan 3-16 arus hubung singkat satu-fasa kctanah (arus gangguan tanah) adalah :

$$I_{fg} = (10\%-25\%) \cdot I_{SC3\phi}$$

Dimana

$$I_{SC3\phi} = 9200 \text{ A}$$

Maka

$$\begin{aligned} I_{fg} &= 25\% \cdot 9200 \\ &= 2300 \text{ A} \end{aligned}$$

#### 4.3.3. Luas Penampang Konduktor Pengetanahan Minimum

Dengan menggunakan persamaan 3-19 luas penampang konduktor pengetanahan minimum dapat di tentukan yaitu :

$$A = \frac{I_{SC3\phi}}{\sqrt{\log_{10} \left[ \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right]}} \sqrt{\frac{33 \cdot t}{33 \cdot t}}$$

Dimana

$$I_{fg} = 9200 \text{ A}$$

$$t = 3 \text{ detik (untuk factor keamanan nilai t diambil 3 detik)}$$

$$T_m = 450^\circ\text{C (untuk kisi-kisi pengetanahan dengan sabungan las)}$$

$$T_u = 40^\circ\text{C (suhu maksimum sekeliling tanah)}$$

Maka

$$A = \frac{9200}{\sqrt{\frac{\log_{10} \left[ \frac{450 - 40}{234 + 40} + 1 \right]}{33,3}}}$$

$$= 145225,5919 \text{ Circular mils (1CM} = 0,0005065 \text{ mm}^2)$$

$$= 73,56 \text{ mm}^2$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$r^2 = \frac{\sqrt{73,56}}{3,14}$$

$$d = 2 \cdot r$$

$$= 9,68 \text{ mm}$$

Maka dalam analisis digunakan  $A = 74 \text{ mm}^2$  dan diameter  $9,68 \text{ mm}$ .  
Sedangkan berdasarkan data digunakan  $A = 100 \text{ mm}^2$  dan diameter  $13,0 \text{ mm}$

#### 4.3.4 Tahanan Pengetanahan

Nilai tahanan pengetanahan *Grid* ( $R_1$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2-17 yaitu :

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \left[ \ln \left( \frac{2L}{h'} \right) + K_1 \left( \frac{L}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right]$$

Dimana :

$$L = 1603,8 \text{ m}$$

$$A = 6540,3 \text{ m}^2 \text{ (luas area pengetanahan)}$$

$$\rho = 74,2 \text{ Ohm-m}$$

$$\begin{aligned}
 d &= 13,0 \cdot 10^{-3} \text{ m (berdasarkan data)} \\
 &= 9,68 \cdot 10^{-3} \text{ m (berdasarkan analisis)} \\
 h &= 0,8 \text{ m} \\
 h' &= \sqrt{d \cdot h} \\
 &= \sqrt{13,0 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8} = 0,102 \\
 &= \sqrt{9,68 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8} = 0,088 \\
 K_1 &= 1,37 \text{ (dari garafik 2-3, kurva A)} \\
 K_2 &= 5,7 \text{ (dari garfik 2-4, kurva A)}
 \end{aligned}$$

Maka

- Berdasarkan Analisis

$$\begin{aligned}
 R_i &= \frac{74,2}{3,14 \cdot 1603,8} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 1603,8}{0,088} \right) + 1,37 \left( \frac{1603,8}{\sqrt{6540,3}} \right) - 5,7 \right] \\
 &= 0,439 \text{ Ohm}
 \end{aligned}$$

#### 4.3.5. Tegangan Sentuh Maksimum Sebenarnya

Nilai tegangan sentuh maksimum sebenarnya dapat ditentukan dengan persamaan 3-7 yaitu :

$$E_{mesh} = K_m \cdot K_{mi} \cdot \rho \cdot \frac{I_{fg}}{L}$$

Dimana

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D^2 + 2h)}{6Dh} + \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_u}{K_h} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

$$D = 10 \text{ m}$$

$$h = 0,8 \text{ m}$$

$$d = 13,0 \cdot 10^{-3} \text{ m (berdasarkan data)}$$

$$= 9,68 \cdot 10^{-3} \text{ m (berdasarkan analisis)}$$

$$n = \sqrt{n_a \cdot n_b} : n_a = 9; n_b = 10$$

$$= \sqrt{9 \cdot 10} = 9,4868$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}} = \frac{1}{(2 \cdot 9,4868)^{2/9,4868}} = 0,5377$$

$$K_h = 0,5377 ; h_0 = 1 \text{ meter (referensi kedalaman mesh)}$$

$$= \sqrt{1 + 0,8/1} = 1,3416$$

Maka nilai parameter  $K_m$  untuk kondisi lapangan dan hasil analisis adalah

$$K_m = \frac{1}{2,314} \left[ \ln \left( \frac{10^2}{16 \cdot 0,8 \cdot 9,68 \cdot 10^{-3}} + \frac{(10 + (2 \cdot 0,8))^2}{6 \cdot 10 \cdot 0,8} + \frac{0,8}{4 \cdot 13 \cdot 0 \cdot 10^{-3}} \right) + \frac{0,5377}{1,3416} \ln \frac{8}{3,14(2 \cdot 9,4868 - 1)} \right]$$

$$= 1,03 \text{ (berdasarkan analisis)}$$

Dimana

$$K_m = 0,656 + 0,172 \cdot n - 0,656 - 0,172 \cdot 9,4868 = 2,29$$

$$P = 74,2 \text{ Ohm-m}$$

$$I_{fg} = 2300 \text{ A}$$

$$L = 1603,8 \text{ m}$$

Maka

- Berdasarkan Analisis

$$E_{mesh} = 1,03 \times 2,29 \times 74,2 \times \frac{2300}{1603,8}$$

$$= 250,78 \text{ Volt} \approx 251 \text{ Volt}$$

#### 4.3.6. Tegangan Langkah Sebenarnya

Nilai tegangan langkah sebenarnya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 3-13 yaitu

$$E_{lm} = K_s \cdot K_{si} \cdot \rho \cdot \frac{I_{fg}}{L}$$

Dimana

$$\begin{aligned}K_s &= 0,259 \text{ (telah dihitung pada analisis)} \\K_{si} &= 2,2827 \text{ (telah dihitung pada analisis)} \\P &= 74,2 \text{ Ohm-m} \\I_{fg} &= 2300 \text{ A} \\L &= 1603,8 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned}E_f &= 0,259 \times 2,2827 \times 74,2 \times \frac{2300}{1603,8} \\&= 63,065 \approx 63 \text{ Volt}\end{aligned}$$

#### 4.4. Tinjauan Hasil Perhitungan Sistem Pengetanahan Setelah Terjadi Arus Hubungan singkat Tiga-fasa ketanah Di Gardu Induk Blimbing

Dengan diketahuinya pada analisis kondisi lapangan bahwa tegangan sentuh maksimum yang sebenarnya lebih besar dari tegangan sentuh yang diijinkan ( $E_{mesh} = 251 \text{ V} > E_s = 216 \text{ V}$ ) maka sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk Blimbing sudah tidak memenuhi persyaratan keamanan, sehingga diperlukan alternatif perbaikan dengan cara menambah konduktor pengetanahan *Grid*.

#### 4.5. Penambahan Konduktor Sistem Pengetanahan Peralatan Pada Gardu Induk Blimbing

Panjang konduktor minimal yang di perlukan agar di peroleh  $E_{mesh} < E_s$  dapat di tentukan dengan menggunakan persamaan 3-20 yaitu :

$$L > \frac{K_m \cdot K_{mi} \cdot \rho \cdot I_{fg} \cdot \sqrt{t}}{(116 + 0,174 \cdot C_s (h_s, K)) \cdot \rho_s}$$

Dimana

$$\begin{aligned}K_m &= 0,898 \text{ (telah dihitung pada analisis saat terjadi gangguan)} \\K_{mi} &= 2,29 \text{ (telah dihitung pada analisis setelah terjadi gangguan)} \\P &= 74,2 \text{ Ohm-m}\end{aligned}$$

$$P_s = 300 \text{ Ohm-m}$$

$$I_g = 2300 \text{ A}$$

$$t = 0,5 \text{ detik}$$

$$C_s = 0,7 \text{ (diperoleh dengan memplotkan grafik 2-2) dengan menentukan}$$

$$K = \frac{P - P_s}{P + P_s} = \frac{74,2 - 300}{74,2 + 300} = -0,6$$

$$h_s = 0,1 \text{ m (ketebalan lapisan koral)}$$

Maka

$$L > \frac{0,989 \times 2,29 \times 74,2 \times 2300 \times \sqrt{0,5}}{(116 + (0,174 \times 0,7 \times 300))}$$

$$L > 2392,62$$

Panjang konduktor yang telah ada adalah ( $L_c$ ) 1603,8 m, sehingga diperlukan tambahan panjang konduktor minimal  $2392,62 - 1603,8 = 788,82 \text{ m}$

#### 4.5.1. Tegangan sentuh maksimum sebenarnya

Nilai tegangan sentuh maksimum sebenarnya dapat ditentukan dengan persamaan 3-7 yaitu

$$E_{mesh} = K_m \cdot K_{m1} \cdot P \cdot \frac{I_{fg}}{L}$$

Dimana

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D^2 + 2h)}{6Dh} + \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_a}{K_b} \ln \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

$$D = 10 \text{ m}$$

$$H = 0,8 \text{ m}$$

$$d = 13,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$= 7,74 \cdot 10^{-3} \text{ m (berdasarkan analisis)}$$

$$n = \sqrt{n_a \cdot n_b} ; n_a = 9 ; n_b = 10$$

$$n = \sqrt{9 \cdot 10} = 9,4868$$

$$K_h = \sqrt{1 + h / h_0} ; h_0 = 1 \text{ meter (referensi kedalam mesh)}$$

$$= \sqrt{1 + 0,8/1} = 1,34 ; \text{Maka nilai parameter } K_m \text{ adalah}$$

$$K_m = \frac{1}{2,314} \left[ \ln \left( \frac{10^2}{16,0,8 \cdot 13,0 \cdot 10^{-3}} + \frac{(10 + (2,0,8))^2}{6 \cdot 10,0,8} + \frac{0,8}{4 \cdot 13,0 \cdot 10^{-3}} \right) + \frac{1}{1,3416} \ln \frac{8}{3,14(2,94868 - 1)} \right]$$

$$= 0,873 \text{ (berdasarkan analisis)}$$

Dimana

$$K_{mi} = 0,656 + 0,172$$

$$n = 0,656 + 0,172 \cdot 9,4868 = 2,287$$

$$P = 74,2 \text{ Ohm-m}$$

$$L = 1603,8 \text{ m}$$

$$I_{fg} = 2300 \text{ A}$$

Maka

- Berdasarkan Analisis

$$E_{mesh} = 0,873 \times 2,287 \times 74,2 \times \frac{2300}{1603,8}$$

$$= 212,38 \text{ Volt} \approx 213 \text{ Volt}$$

#### 4.5.2. Tegangan Langkah Sebenarnya

Nilai tegangan langkah sebenarnya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 3-13 yaitu

$$E_{lm} = K_s \cdot K_{si} \cdot P \cdot \frac{I_{fg}}{L}$$

Dimana

$$K_s = 0,259 \text{ (telah dihitung pada analisis saat terjadi gangguan)}$$

$$K_{si} = 2,287 \text{ (telah dihitung pada analisis setelah terjadi gangguan)}$$

$$P = 74,2 \text{ Ohm-m}$$

$$L = 1603,8 \text{ m}$$

$$I_{fg} = 2300 \text{ A}$$

Maka

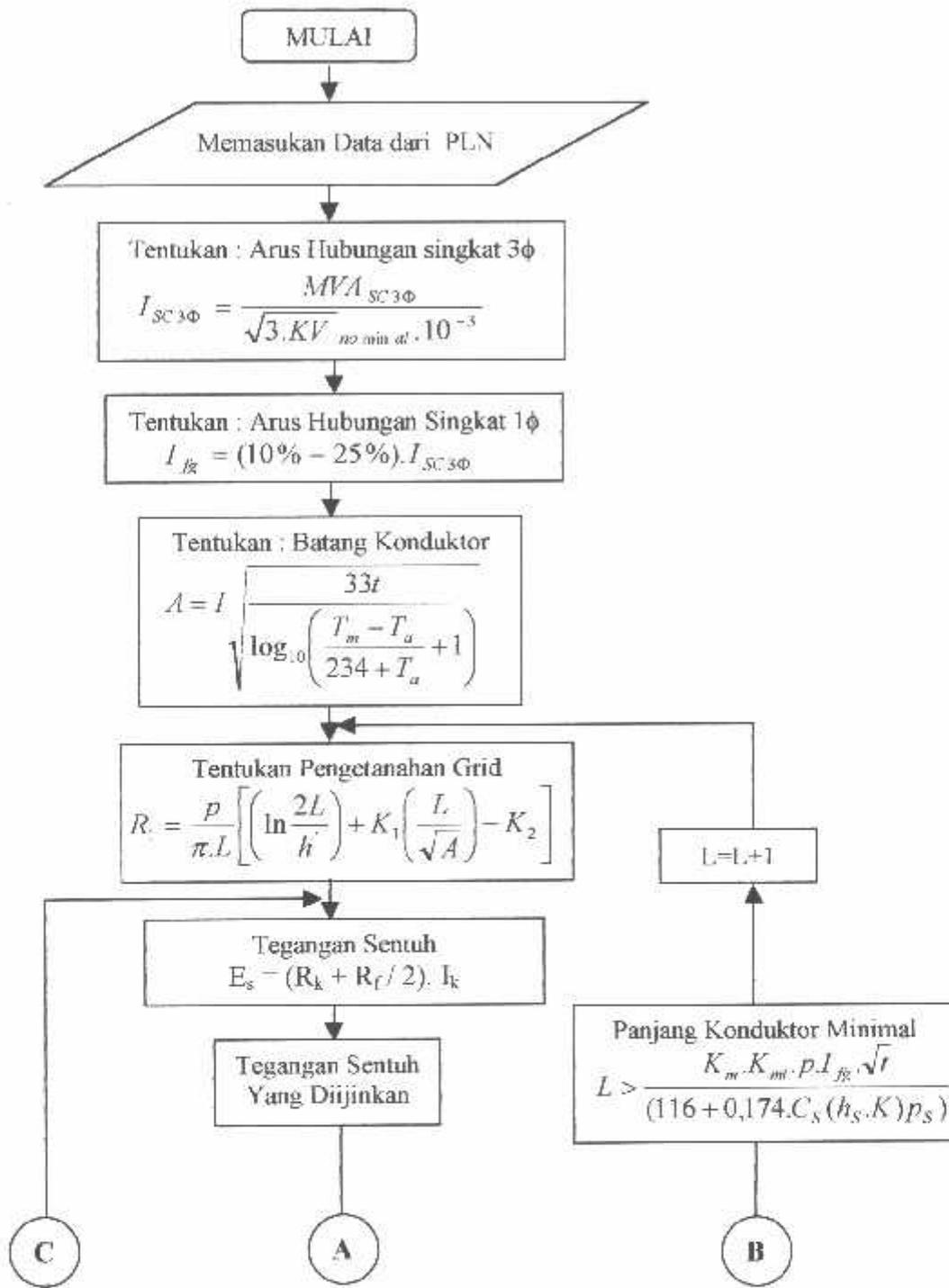
$$E_m = 0,259 \times 2,287 \times 74,2 \times \frac{2300}{1603,8}$$

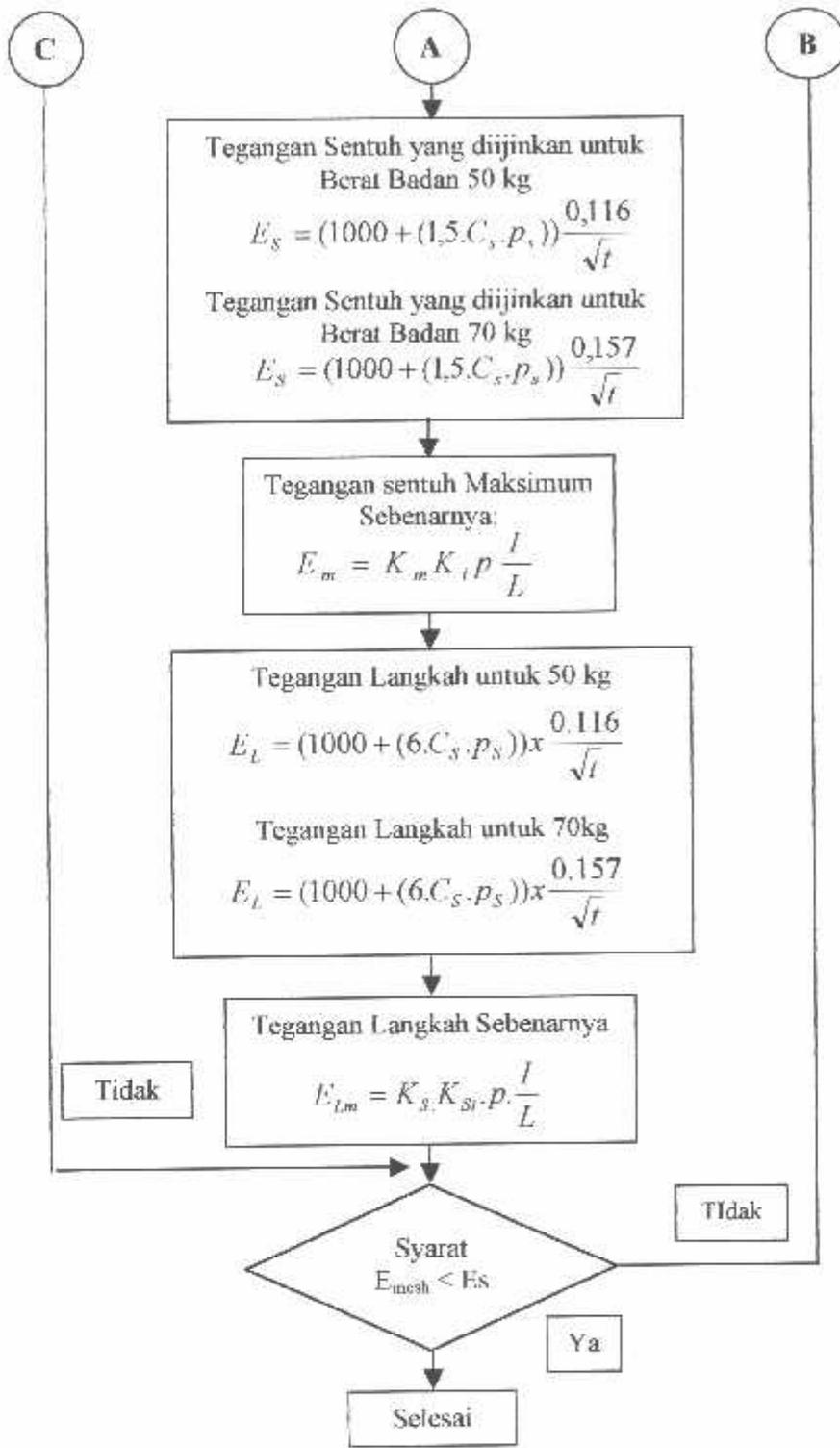
$$= 62,9 \approx 62 \text{ Volt}$$

#### **4.6. Tinjauan Hasil Perhitungan Sistem Pengetanahan Peralatan Dengan Penambahan Batang Konduktor Di Gardu Induk Blimbing**

Setelah adanya penambahan batang konduktor pengetanahan maka tegangan sentuh maksimum sebenarnya lebih dari tegangan sentuh yang diijinkan ( $E_{touch} = 213 \text{ V} < E_s = 216 \text{ V}$ ). Dengan demikian Gardu Induk Blimbing akan memenuhi persyaratan keamanan.

#### 4.7. Flochart Program





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis perhitungan sistem pengetanahan peralatan di Gardu Induk Blimbing terhadap sistem pengetanahan peralatan disimpulkan sebagai berikut :

##### 1. Sebelum Terjadi Arus Hubungan Simetris

Analisis perhitungan nilai tahanan 0,441 Ohm dan diameter penampang konduktor *Grid* 13,0 dengan panjang konduktor *Grid* 1603,8 m, maka diperoleh. Nilai tegangan sentuh maksimum sebenarnya ( $E_{mesh} = 156$  Volt) sesuai dengan persyaratan karena lebih kecil dari nilai tegangan sentuh yang diijinkan ( $E_s = 216$  Volt) dan nilai tegangan langkah sebenarnya ( $E_{lm} = 40$  Volt) sesuai dengan persyaratan karena lebih kecil dari nilai tegangan langkah yang diijinkan ( $E_l = 371$  Volt).

##### 2. Setelah Terjadi Arus Hubungan Simetris

Analisis perhitungan nilai tahanan 0,439 Ohm dan diameter penampang konduktor *Grid* 13,0 dengan panjang konduktor *Grid* 1603,8 m, maka diperoleh. Nilai tegangan sentuh maksimum sebenarnya ( $E_{mesh} = 251$  Volt) tidak sesuai dengan persyaratan karena lebih besar dari tegangan sentuh yang diijinkan dan nilai tegangan langkah sebenarnya ( $E_{lm} = 62$  Volt) sesuai dengan persyaratan karena lebih kecil dari nilai tegangan langkah yang diijinkan ( $E_l = 371$  Volt)

##### 3. Setelah Penambahan Konduktor

Analisis perhitungan setelah penambahan konduktor maka diperoleh tegangan sentuh maksimum sebenarnya ( $E_{mesh} = 213$  V) dan nilai tegangan sentuh yang diijinkan ( $E_s = 216$  V) dengan demikian Gardu Induk Blimbing akan memenuhi persyaratan keamanan.

Maka :  $E_{mesh} 213 \text{ V} < E_s 216 \text{ V}$ ,  $E_{lm} 62 \text{ V} < E_l 371 \text{ V}$

## 5.2. Saran

Setelah dilakukan analisis di Gardu Induk Blimbing terhadap sistem pengetanahan peralatan, maka agar diperoleh kondisi sistem pengetanahan peralatan Gardu Induk yang sesuai dengan persyaratan keamanan dan dapat menjamin keselamatan orang yang berada di area Gardu Induk pada saat terjadi gangguan, sebaiknya tetap menggunakan pengetanahan *Grid* dengan menambah konduktor dengan panjang 788,82 m.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. AIEE Committee Report, Oct 1999. *Voltage Gradients Through the Ground Under Fault Condition*.
- [2]. F. Dawalibi, D. Mukhedkar, *Optimum Design Of Substation Grounding in a Two Layer Earth Structure, Part I - Analytical Study*," IEEE Trans. Vol. Pas-94.
- [3]. F. Dawalibi, D. Mukhedkar, *Optimum Design Of Substation Grounding in a Two Layer Earth Structure, Part II – Comparison Between Theoretical and Experimental Results*," Ibid, Vol. Pas-94.
- [4]. F. Dawalibi, D. Mukhedkar, *Optimum Design Of Substation Grounding in a Two Layer Earth Structure, Part III – Study of Grounding Grids performance and new Elektrodes Configuration*," Ibid, Vol. Pas-94.
- [5]. Hutahuruk T. S. Ir Msc *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*, Erlangga Edisi II 1999.
- [6]. J. G. Severak, *Optimized Grounding Grid Design Using Variable Spacing Technique*, Transaction on Power Apparatus and System, Vol. Pas-95.
- [7]. William J. Helirich and Richard L. Reynolds, *Safety Grounding – A Performance Approach*, IEEE Presented at the Institute of Elektronika and Elektrical Engineers 1999 Mining Industry technical Conference.
- [8]. Wiliam D. Stevenson JR. *Analisis Sistem Tenaga*, penerbit 1982



## Lampiran

### 1. Perhitungan Manual Analisis Sistem Pengetanahan Peralatan Sebelum Terjadi Penambahan Daya Di Gardu Induk Blimbing

#### Arus Hubung Singkat Tiga-fasa Simetris

$$I_{SC3\phi} = \frac{MVA_{SC3\phi}}{\sqrt{3} \cdot KV_{\text{nominal}} \cdot 10^{-3}}$$

$$I_{SC3\phi} = \frac{1527,62}{\sqrt{3} \cdot 150 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 5879,815 \text{ A}$$

#### Arus Hubung Singkat Satu-fasa Kitanah

Perhitungan arus hubung singkat satu-fasa kitanah yang dicari hanya pada sisi tegangan tinggi 150 kV, karena nilai arus gangguan yang terbesar terjadi pada sisi tegangan tinggi 150 kV. Nilai arus gangguan satu-fasa kitanah adalah :

$$I_{fg} = (10\% - 25\%) \cdot I_{SC3\phi}$$

$$I_{SC3\phi} = 5879,815 \text{ A}$$

$$I_{fg} = 25\% \cdot 5879,815$$

$$= 1469,954 \text{ A}$$

#### Luas Penampang Konduktor Pengetanahan Minimum

$$A = \frac{I_{SC3\phi}}{\sqrt{\log_{10} \left[ \frac{I_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right] \cdot 33 \cdot l}}$$

$$A = \sqrt{\frac{5879,815}{\log_{10} \left[ \frac{450 - 40}{234 \cdot 40} + 1 \right] \cdot 33,3}}$$

Tahanan Pengetanahan *Grid* ( $K_1$ )

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \left[ \ln \frac{2L}{h} + K_1 \left( \frac{L}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right]$$

- Berdasarkan Data

$$R_1 = \frac{74,2}{3,14 \cdot 1603,8} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 1603,8}{0,102} \right) + 1,37 \left( \frac{1603,8}{\sqrt{6540,3}} \right) - 5,7 \right]$$

= 0,438 Ohm

- Berdasarkan Analisis

$$R_1 = \frac{74,2}{3,14 \cdot 1603,8} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 1603,8}{0,079} \right) + 1,37 \left( \frac{1603,8}{\sqrt{6540,3}} \right) - 5,7 \right]$$

= 0,441

**Tegangan Sentuh Yang Diiijinkan**

- Berat Badan 50 kg

$$E_s = (1000 + (1,5 \cdot 0,7 \cdot 300)) \frac{0,116}{\sqrt{0,5}}$$

= 215,66 Volt  $\approx$  216 Volt

- Berat Badan 70 kg

$$E_s = (1000 + (1,5 \cdot 0,7 \cdot 300)) \frac{0,157}{\sqrt{0,5}}$$

= 239 Volt

**Tegangan Sentuh Maksimum Sebenarnya**

$$E_{mesh} = K_m \cdot K_{mi} \cdot \rho \cdot \frac{I_{fg}}{L}$$

Parameter  $K_m$  Untuk Kondisi Lapangan dan Hasil Analisis

$$K_m = \frac{1}{2,3,14} \left[ \ln \left( \frac{10^2}{16,0,8,13,0,10^{-3}} + \frac{(10+(2,0,8))^2}{6,10,0,8} + \frac{0,8}{4,13,0,10^{-3}} \right) + \frac{0,5377}{1,3416} \ln \frac{8}{3,14(2,9,4868-1)} \right]$$

= 0,9 (berdasarkan data)

$$K_m = \frac{1}{2,3,14} \left[ \ln \left( \frac{10^2}{16,0,8,7,74,10^{-3}} + \frac{(10+(2,0,8))^2}{6,10,0,8} + \frac{0,8}{4,7,7,10^{-3}} \right) + \frac{0,5377}{1,3416} \ln \frac{8}{3,14(2,9,4868-1)} \right]$$

= 1 (berdasarkan analisis)

- Berdasarkan Data

$$E_{mesh} = 0,898 \times 2,29 \times 74,2 \frac{1469,959}{1603,8}$$

= 140 Volt

- Berdasarkan Analisis

$$E_{mesh} = 1 \times 2,288 \times 74,2 \frac{1469,959}{1603,8}$$

= 155,6 Volt  $\approx$  156 Volt

### Tegangan Sentuh Yang Diiijinkan dan Lama Gangguan

Lama gangguan (t) (Detik)	Tegangan sentuh yang diijinkan(Volt)
0.1	1.980
0.2	1.400
0.3	1.140
0.4	990
0.5	890
1.0	626
2.0	443
3.0	362

### Tegangan Langkah Yang Diiijinkan

- Untuk berat badan 50 kg

$$E_t = (1000 + (6.0,7.300)) \times \frac{0,116}{\sqrt{0,5}}$$
$$= 370,64 \text{ Volt} \approx 371 \text{ Volt}$$

- Untuk berat badan 70 kg

$$E_t = (1000 + (6.0,7.300)) \times \frac{0,157}{\sqrt{0,5}}$$
$$= 461,76 \text{ Volt} \approx 462 \text{ Volt}$$

### Tegangan Langkah Sebenarnya

$$E_{lm} = K_s \cdot K_{s1} \cdot P \frac{I_{fg}}{L}$$
$$E_{lm} = 0,259 \times 2,287 \times 74,2 \times \frac{1469,959}{1603,8}$$
$$= 40,3 \text{ Volt} \approx 40 \text{ Volt}$$

### Tegangan Pindah

$$E_{pindah} = I_{fg} \cdot R_o$$

---

### Tegangan Langkah Yang Diijinkan dan Lama Gangguan

Lama gangguan (t) (Detik)	Tegangan langkah yang diijinkan (Volt)
0,1	7.000
1,2	4.950
0,3	4.040
0,4	3.500
0,5	3.140
1,0	2.216
2,0	1.560
3,0	1.280

## 2. Perhitungan Manual Analisis Sistem Pengetanahan Peralatan Setelah Terjadi Penambahan Daya

### Arus Hubung Singkat Tiga-fasa Simetris

$$I_{SC3\phi} = \frac{MVA_{SC3\phi}}{\sqrt{3} \cdot KV_{no\ min\ at} \cdot 10^{-3}}$$

$$I_{SC3\phi} = \frac{2390,16}{\sqrt{3} \cdot 150 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 9199,7 \text{ A} \approx 9200 \text{ A}$$

### Arus Hubung Singkat Satu-fasa Ketanah

$$I_{fg} = (10\%-25\%) \cdot I_{SC3\phi}$$

$$I_{SC3\phi} = 9200 \text{ A}$$

$$I_{fg} = 25\% \cdot 9200$$

$$= 2300 \text{ A}$$

---

### Luas Penampang Konduktor Pengetanahan Minimum

$$A = \frac{I_{SC3\Phi}}{\sqrt{\log_{10} \left[ \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right]}}$$

$$A = \frac{9200}{\sqrt{\log_{10} \left[ \frac{450 - 40}{234 + 40} + 1 \right]}}$$

### Tahanan Pengetanahan Grid ( $R_1$ )

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \left[ \ln \left( \frac{2L}{h} \right) + K_1 \left( \frac{L}{\sqrt{A}} \right) - K_2 \right]$$

- Berdasarkan Data

$$R_1 = \frac{74,2}{3,14 \cdot 1603,8} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 1603,8}{0,102} \right) + 1,37 \left( \frac{1603,8}{\sqrt{6540,3}} \right) - 5,7 \right]$$

- 0,439 Ohm

- Berdasarkan Analisis

$$R_1 = \frac{74,2}{3,14 \cdot 1603,8} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot 1603,8}{0,088} \right) + 1,37 \left( \frac{1603,8}{\sqrt{6540,3}} \right) - 5,7 \right]$$

- 0,439 Ohm

### Ukuran Minimum Konduktor Tembaga Untuk Pengetanahan

Waktu Gangguan (Detik)	Circular mils per Ampere			
	Konduktor Tembaga	40% CWD	Tembaga Sambungan Pengelasan	Tembaga Sambungan Baut
30	40	47	50	65
4	14	17	20	24
1	7	8,5	10	12
0,5	5	6	6,5	8,5

### Tegangan Sentuh Maksimum Sebenarnya

$$E_{mesh} = K_m \cdot K_{mi} \cdot \rho \cdot \frac{I_{fg}}{L}$$

Parameter  $K_m$  Untuk Kondisi Lapangan dan Hasil Analisis

$$K_m = \frac{1}{2,314} \left[ \ln \left( \frac{10^2}{16,0,8 \cdot 13,0 \cdot 10^{-3}} + \frac{(10 + (2,0,8))^2}{6 \cdot 10 \cdot 0,8} + \frac{0,8}{4 \cdot 13,0 \cdot 10^{-3}} \right) + \frac{0,5377}{1,3416} \ln \frac{8}{3,14(2,9,4868 - 1)} \right]$$

= 0,898 ( berdasarkan data )

$$K_m = \frac{1}{2,314} \left[ \ln \left( \frac{10^2}{16,0,8 \cdot 9,68 \cdot 10^{-3}} + \frac{(10 + (2,0,8))^2}{6 \cdot 10 \cdot 0,8} + \frac{0,8}{4 \cdot 13,0 \cdot 10^{-3}} \right) + \frac{0,5377}{1,3416} \ln \frac{8}{3,14(2,9,4868 - 1)} \right]$$

= 1,03 ( berdasarkan analisis data )

### Tegangan Langkah Sebenarnya

$$E_{lm} = K_s \cdot K_{Si} \cdot \rho \cdot \frac{I_{fg}}{L}$$

### Tegangan Pindah

$$E_{pindah} = I_{fg} \cdot R_0$$

- Berdasarkan Data

$$E_{pindah} = 2300 \times 0,437$$

= 1005,1 Volt  $\approx$  1005 Volt

- Berdasarkan analisis

$$E_{pindah} = 2300 \times 0,438$$

= 1007,4 Volt

---

### 3. Penambahan Konduktor Sistem Pengetanahan Peralatan Pada Gardu Induk Blimbing

Panjang konduktor minimal yang di perlukan agar di peroleh  $E_{\text{mesh}} < E_s$

$$L > \frac{K_m \cdot K_{mt} \cdot \rho \cdot I_{fg} \cdot \sqrt{I}}{(116 + 0,174 \cdot C_s(h_s, K)) \cdot \rho_s}$$

$$L > \frac{0,989 \times 2,2877 \times 74,2 \times 2300 \times \sqrt{0,5}}{(116 + (0,174 \times 0,7 \times 300))}$$

$$L > 1789,89$$

#### Tahanan Pengetanahan

Tahanan Pengetanahan *Gird* ( $R_1$ )

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \left[ \ln\left(\frac{2L}{h}\right) + K_1 \left(\frac{L}{\sqrt{A}}\right) - K_2 \right]$$

- Berdasarkan Data

$$R_2 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot L_2} \left[ \ln\left(\frac{8L_2}{d_2}\right) - 1 + 2 \cdot K_1 \left(\frac{L_2}{\sqrt{A}}\right) (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

$$= 0,525 \text{ Ohm}$$

- Berdasarkan Analisis

$$R_1 = \frac{74,2}{3,14 \cdot 1789,89} \left[ \ln\left(\frac{2 \cdot 1789,89}{0,088}\right) + 1,37 \left(\frac{1789,89}{\sqrt{6540,3}}\right) - 5,7 \right]$$

$$= 0,465 \text{ Ohm}$$

### Berbagai harga tahanan tubuh manusia

Penelitian	Tahanan (Ohm)	Keterangan
Dalziel	500	Dengan tegangan 60 cps
AIEE Committee Report 195	2.330	Dengan tegangan 21 volt tangan ketangan $I_k = 9$ ma
	1.130	Tangan ke kaki
	1.680	Tangan ketangan dengan arus searah
	800	Tangan ke kaki dengan 50 cps
Laurent	3.000	

#### Tegangan sentuh maksimum sebenarnya

$$E_{mesh} = K_m \cdot K_{mi} \cdot p \cdot \frac{I_{fg}}{L}$$

- Berdasarkan Data

$$E_{mesh} = 0,79 \times 2,287 \times 74,2 \times \frac{2300}{1932,145}$$

$$= 170,5 \text{ Volt} \approx 171 \text{ Volt}$$

- Berdasarkan Analisis

$$E_{mesh} = 0,873 \times 2,287 \times 74,2 \times \frac{2300}{1932,145}$$

$$= 188,44 \text{ Volt} \approx 189 \text{ Volt}$$

#### Tegangan Langkah Sebenarnya

$$E_{lm} = K_s \cdot K_{si} \cdot p \cdot \frac{I_{fg}}{L}$$

$$E_{mesh} = 0,259 \times 2,287 \times 74,2 \times \frac{2300}{1932,145}$$

$$= 52,3 \text{ Volt} * 52 \text{ Volt}$$

### Batas-batas Arus dan Pengaruhnya Pada Tubuh Manusia

Besar Arus	Pengaruh Pada Tubuh Manusia
0 - 0,9 mA	Belum dirasakan pengaruhnya, tidak menimbulkan reaksi
0,9 - 1,2 mA	Baru terasa adanya arus listrik, tetapi tidak menimbulkan akibat kejang, kontraksi atau kehilangan kontrol
1,2 - 1,6 mA	Mulai terasa seakan-akan ada yang merayap di dalam tangan
1,6 - 6,0 mA 6,0 - 8,0 mA 6,0-8,0 mA	Tangan mulai ke siku mulai kesemutan Tangan mulai kaku, rasa kesemutan mulai bertambah
13 - 15,0 mA	Rasa sakit tidak tertahankan, penghantar masih dapat melepaskan dengan gaya yang besar sekali
15 - 20,0 mA 20 - 50,0 mA 20 - 50,0 mA	Otot tidak sanggup lagi melepaskan penghantar Dapat mengakibatkan kerusakan pada tubuh manusia
50 - 100,0 mA	Batas arus yang dapat menyebabkan kematian



### LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1. Nama                          | : AGUS RUSMIANTO   |
| 2. NIM                           | : 98. 12. 114  |
| 3. Jurusan                       | : TEKNIK ELEKTRO S-1   |
| 4. Program Studi                 | : TEKNIK ENERGI LISTRIK  |
| 5. Judul Skripsi                 | : ANALISIS SISTEM<br>PENGETANAHAN GRID<br>MENGUNAKAN TEKNIK JARAK<br>VARIABEL DI GARDU INDUK<br>BLIMBING |
| 6. Tanggal Mengajukan Skripsi    | : 22 Juni 2005   |
| 7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi | : 20 Maret 2006  |
| 8. Dosen Pembimbing              | : Ir. Djojo Priatmono, MT<br>Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT.   |
| 9. Telah Dievaluasi Dengan Nilai | : 87 (Delapan Puluh Tujuh)   |

Diperiksa dan Disetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

(Ir. Djojo Priatmono, MT)  
NIP. Y. 1018500107

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)  
NIP. Y. 1018800189

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)  
NIP. Y. 1039500274



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : AGUS RUSMIANTO
2. NIM : 98 12 114
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Program Studi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : ANALISIS SISTEM PENGETANAHAN GRID  
MENGUNAKAN TEKNIK JARAK VARIABEL  
DI GARDU INDUK BLIMBING

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

Hari : Senin  
Tanggal : 20 Maret 2006  
Dengan Nilai : 77.7 (B+) *km*

**Panitia Ujian Skripsi**

  
Ketua  
*(Mr. Mochtar Asroni, MSME)*  
NIP. Y. 1018100036

Sekretaris  
  
( Ir. F. Yudi Limpraptono, MT )  
NIP. Y. 1039500274

**Anggota Penguji**

Penguji Pertama  
  
( Ir. Abdul Hamid, MT )  
NIP. Y. 1018800188

Penguji Kedua  
  
( Ir. Eko Nurcahyo )  
NIP. Y. 1028700172

---



## PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

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

**Hari** : **Senin**  
**Tanggal** : **20 Maret 2004**

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. **Nama** : **AGUS RUSMIANTO**
2. **NIM** : **9812114**
3. **Jurusan** : **TEKNIK ELEKTRO S-1**
4. **Konsentrasi** : **TEKNIK ENERGI LISTRIK**
5. **Judul Skripsi** : **ANALISIS SISTEM PENGETANAHAN GRID  
MENGUNAKAN TEKNIK JARAK VARIABEL DI  
GARDU INDUK BLIMBING**

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Keterangan
1.	Sesuaikan isi dengan judul	
2.	Sesuaikan dengan jurnal yang dipakai	

**(Ir. M Abdul Hamid, MT)**  
Penguji Pertama

Disetujui / diperiksa

**(Ir. Eko Nurcahyo)**  
Penguji Kedua

Mengetahui / menyetujui

Dosen Pembimbing I

**(Ir. Djojo Priatmono, MT)**  
NIP. Y. 1018500107

Dosen Pembimbing II

**(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)**  
NIP. Y. 1018800189



**FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI**

Nama : Agus Rusmianto  
Nim : 98. 12. 114  
Masa Bimbingan : 22 Desember 2005 – 22 Mei 2006

Judul Skripsi : OPTIMASI SISTEM PENTANAHAN GRID  
MENGUNAKAN TEKNIK JARAK VARIABEL  
DI GARDU INDUK BELIMBING

No	Tanggal	Uraian	Parap Pembimbing
1.	20-02-06	Konsultasi BAB I, II, III, IV, V	
2.	23-02-06	Perbaikan Sistematika Penulisan	
3.	25-02-06	Revisi BAB III	
4.	27-02-06	Konsultasi BAB IV	
5.	01-03-06	Revisi Hasil BAB IV	
6.	02-03-06	Makalah Hasil	
7.	06-03-06	ACC Seminar Hasil	
8.	08-03-06	Priksa Ulang Penulisan	
9.	11-03-06	Siapkan Skripsi yang sudah siap sebagai persiapan kompresif	
10.			

Malang, 17 Maret, 2006  
Dosen Pembimbing

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT  
Nip. Y. 1018800189

From. S-4b