

ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM GRID DAN GRID ROD  
PADA PEMBUMIHAN GARDU INDUK



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi D-4 Teknik Listrik  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Ujung Pandang

ARYO ARJASA  
421 13 022

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2017

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **Analisis Perbandingan Sistem Grid dan Grid Rod pada Pembumian Gardu Induk** oleh Aryo Arjasa NIM 421 13 022 dinyatakan layak untuk diujikan.

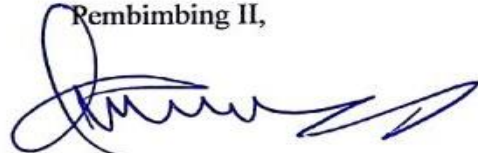
Makassar, 19 September 2017

Pembimbing I,



Ir. Tadjuddin, M.T.  
NIP. 19620102 198803 1 003

Pembimbing II,



Dr. Alimin L., M.Pd.  
NIP. 19590812 199003 1 002

Mengetahui

Ketua Program Studi,



Akhsan, S.T., M.T.

NIP. 19660601 1990 03 1 001

## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Senin tanggal 25 September 2017, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: **Aryo Arjasa** nomor induk mahasiswa **421 13 022** dengan judul **Analisis Perbandingan Sistem Grid dan Grid Rod pada Pembumian Gardu Induk**.

Makassar, 25 September 2017

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

- |                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 1. Ir. H. Talib Bini, M.T.     | Ketua      |
| 2. Ir. Hatma Rudito, M.T.      | Sekretaris |
| 3. H. Ruslan L., S.T., M.T.    | Anggota    |
| 4. Ahmad Rosyid I., S.T., M.T. | Anggota    |
| 5. Ir. Tadjuddin, M.T.         | Anggota    |
| 6. Dr. Alimin L., M.Pd.        | Anggota    |



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul "ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM GRID DAN GRID ROD PADA PEMBUMIHAN GARDU INDUK" dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian yang dilaksanakan mulai tanggal 25 bulan desember tahun 2016, sampai dengan tanggal 20 bulan september tahun 2017 bertempat di Gardu Induk Tallo Lama.

Kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. H. Hamzah Yusuf, M.Si., selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
2. Ibu Dr. Ir. Hafsa Nirwana, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Aksan, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi D-4 Teknik Listrik.
4. Bapak Ir. Tadjuddin, M.T., sebagai Pembimbing I dan Bapak Dr. Alimin L., M.Pd., sebagai Pembimbing II yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Pihak industri/instansi PT PLN (Persero) Gardu Induk Tallo Lama.
6. Dosen dan tenaga kependidikan Jurusan Teknik Elektro.

Juga kepada kedua orang tua dan keluarga tercinta, yang telah memberikan dukungan baik secara moril maupun materil dan terus mendoakan hingga saat ini, seluruh teman-teman D-4 Teknik Listrik yang telah bersama-sama berjuang dari

awal hingga saat ini serta semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu yang telah terlibat banyak membantu sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, sehingga kami mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan dimasa mendatang. Semoga tulisan ini bermanfaat.

Makassar, September 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
SURAT PERNYATAAN .....	xiv
RINGKASAN .....	xv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian .....	2
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	3
1.4.1 Tujuan Penelitian.....	3
1.4.2 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Sistem Pembumian.....	4
2.1.1 Tujuan Sistem Pembumian.....	6

2.1.2 Elektroda Pembumian .....	7
2.1.3 Konduktor Pembumian .....	8
2.1.4 Pembumian Sistem Grid.....	9
2.1.5 Pembumian Sistem Grid-Rod.....	11
2.1.6 Tahanan Pembumian .....	13
2.1.7 Tahanan Jenis Tanah .....	16
2.2 Pengaruh Besaran Listrik Terhadap Tubuh Manusia.....	18
2.2.1 Tegangan Sentuh.....	21
2.2.2 Tegangan Mesh .....	24
<b>BAB III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>28</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	28
3.2 Prosedur Penelitian .....	28
3.3 Teknik Pengumpulan Data .....	31
3.4 Metode Analisis Data.....	31
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1 Hasil .....	32
4.2 Pembahasan .....	32
4.2.1 Luas Daerah Pembumian .....	32
4.2.2 Tahanan Jenis Tanah .....	33
4.2.3 Ukuran Minimum Elektroda Pembumian .....	33
4.2.4 Tegangan Sentuh yang Diizinkan .....	35
4.2.5 Panjang Elektroda Pembumian Grid .....	35

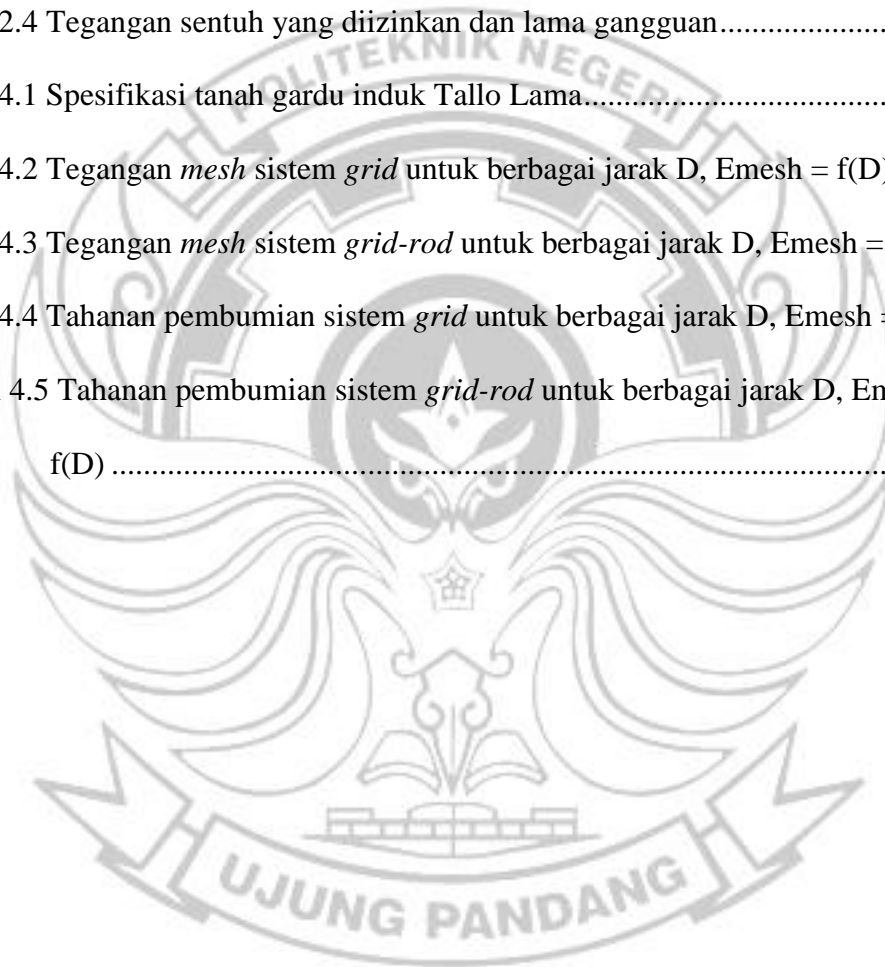
4.2.6 Jumlah Minimum Batang Elektroda Penumbumian (Rod) .....	36
4.2.7 Menentukan Tegangan Mesh .....	38
4.2.8 Menentukan Tahanan Penumbumian .....	43
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran.....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>50</b>





## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai konduktivitas material.....	8
Tabel 2.2 Rekomendasi pengukuran tahanan pembumian serandang .....	13
Tabel 2.3 Nilai tahanan jenis tanah.....	17
Tabel 2.4 Tegangan sentuh yang diizinkan dan lama gangguan.....	24
Tabel 4.1 Spesifikasi tanah gardu induk Tallo Lama.....	32
Tabel 4.2 Tegangan <i>mesh</i> sistem <i>grid</i> untuk berbagai jarak D, $E_{mesh} = f(D)$ .....	41
Tabel 4.3 Tegangan <i>mesh</i> sistem <i>grid-rod</i> untuk berbagai jarak D, $E_{mesh} = f(D)$ .	41
Tabel 4.4 Tahanan pembumian sistem <i>grid</i> untuk berbagai jarak D, $E_{mesh} = f(D)$	44
Tabel 4.5 Tahanan pembumian sistem <i>grid-rod</i> untuk berbagai jarak D, $E_{mesh} = f(D)$ .....	45



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk <i>Grid</i> Pentanahan .....	10
Gambar 2.2 Pentanahan Sistem <i>Grid-Rod</i> .....	12
Gambar 2.3 Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode empat titik .....	17
Gambar 2.4 Tegangan Sentuh .....	21
Gambar 2.5 Tegangan sentuh dengan rangkaian ekivalennya .....	22
Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penulisan .....	30



## DAFTAR SIMBOL DAN SATUAN

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
A	B	C
R <sub>g</sub>	Ohm ( $\Omega$ )	Tahanan pembumian
$\rho$	Ohm ( $\Omega$ )	Tahanan jenis tanah
A	Meter persegi (m <sup>2</sup> )	Luas area pembumian
r	Meter (m)	Jari-jari luas area pembumian
L <sub>T</sub>	Meter (m)	Panjang total konduktor dan batang pembumian
L <sub>R</sub>	Meter (m)	Total panjang <i>rods</i> yang ditanam
L <sub>g</sub>	Meter (m)	Total panjang konduktor yang ditanam
L <sub>t</sub>	Meter (m)	Tambahan konduktor yang ditanam
L <sub>x</sub>	Meter (m)	Panjang maksimum grid sumbu x
L <sub>y</sub>	Meter (m)	Panjang maksimum grid sumbu y
N <sub>r</sub>	Meter (m)	<i>No of ground rods</i>
L <sub>r</sub>	Meter (m)	<i>Lenght of ground rods</i>
L	Meter (m)	<i>Lenght grid</i>
W	Meter (m)	<i>Width grid</i>
h	Meter (m)	Kedalaman penanam konduktor
I	Ampere (A)	Arus kejut
Z	Ohm ( $\Omega$ )	Impedansi total tubuh
E <sub>s</sub>	Volt (V)	Tegangan sentuh
E <sub>l</sub>	Volt (V)	Tegangan langkah
R <sub>k</sub>	Ohm ( $\Omega$ )	Tahanan badan orang

A	B	C
$R_f$	Ohm ( $\Omega$ )	Tahanan kontak ke bumi
$E_{t70}$	Volt (V)	Tegangan sentuh untuk berat badan 70 kg
$E_{t50}$	Volt (V)	Tegangan sentuh untuk berat badan 50 kg
$E_{l70}$	Volt (V)	Tegangan langkah untuk berat badan 70 kg
$E_{l50}$	Volt (V)	Tegangan langkah untuk berat badan 50 kg
$\rho_s$	Ohm ( $\Omega$ )	Tahanan jenis permukaan/lapisan batu koral
t	Sekon (s)	Waktu gangguan tanah/waktu kejut
hs	Meter (m)	Ketebalan lapisan batu koral
$I_G$	Ampere (A)	Arus <i>grid</i> maksimum
$I_f$	Ampere (A)	Nilai arus gangguan tanah
D	Meter (m)	Jarak antara konduktor paralel pada kisi-kisi
d	Meter (m)	Diameter pembumian

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tegangan sentuh yang diizinkan dan lama gangguan berdasarkan IEEE Standar 80.....	51
--	----



## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aryo Arjasa

NIM : 421 13 022

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **Analisis Perbandingan Sistem Grid dan Grid Rod pada Penumian Gardu Induk** merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2017

Nama Mahasiswa **Aryo Arjasa**  
NIM 421 13 022

# ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM GRID DAN GRID ROD PADA PEMBUMIAN GARDU INDUK

## RINGKASAN

Pembumian Gardu Induk Tallo Lama harus memiliki sistem yang handal dan sesuai dengan standar persyaratan yang ada. Maka perlu adanya suatu pengujian akan tingkat keandalan dan keamanan dari sistem pembumiannya. Tujuan penelitian ini untuk menjelaskan pembumian sistem *grid* dan *grid-rod* pada Gardu Induk Tallo Lama, menentukan perbandingan besarnya tegangan sentuh maksimum sebenarnya (*mesh*) pada sistem pembumian *grid* dan *grid-rod* berdasarkan standar kelistrikan serta menentukan perbandingan besarnya nilai tahanan pembumian pada sistem pembumian *grid* dan *grid-rod*.

Adapun teknik pengumpulan data dilakukan dengan observasi, studi literatur dan wawancara. Dari hasil penelitian tugas akhir ini diketahui luas area pembumian pada *switch yard* Gardu Induk Tallo Lama adalah 2067 m<sup>2</sup>, dengan bentuk sistem pembumian berupa kombinasi sistem *grid* dan *rod* yang dilakukan dengan cara menanamkan batang – batang konduktor sejajar dengan permukaan bumi pada kedalaman tertentu.

Sistem pembumian pada Gardu Induk Tallo Lama memenuhi syarat sesuai standar dan ketentuan yang berlaku, dimana nilai tegangan *mesh* dan nilai tahanan pembumiannya yang menjadi pendekatan masih memenuhi syarat dan standar keamanan yang berlaku. Nilai tegangan sentuh yang diizinkan sebesar 647,31 Volt, tegangan *mesh* pada sistem *grid* pada  $D = 3$  meter sebesar 521,72 Volt sedangkan tegangan *mesh* pada sistem *grid-rod* pada  $D = 3$  meter sebesar 461,18 Volt serta nilai tahanan pembumian pada sistem pembumian *grid* pada  $D = 3$  meter yaitu sebesar 1,014  $\Omega$ , sedangkan nilai tahanan pembumian pada sistem pembumian *grid-rod* pada  $D = 3$  meter yaitu sebesar 1,007  $\Omega$

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Dalam ilmu sistem tenaga listrik, terdapat berbagai macam pengamanan tenaga listrik salah satunya adalah dengan pembumian peralatan, yang berfungsi melindungi bahaya arus listrik terhadap manusia, peralatan maupun bangunan. Pembumian merupakan salah satu cara pengurangan pengaruh arus listrik yang dapat terjadi akibat adanya arus bocor atau hubungan singkat karena kegagalan isolasi, surja petir dan bencana alam.

Secara umum pembumian merupakan melakukan koneksi, baik disengaja atau tidak disengaja sirkuit listrik atau peralatan ke bumi/bodi konduksi yang ditempatkan di bumi. Hal ini dilakukan untuk mempertahankan potensial bumi pada konduktor yang terhubung dan mengalirkan arus tanah menuju dan dari bumi. Pembumian peralatan merupakan bentuk pembatasan tegangan antara bagian alat-alat yang tidak dilalui arus dan antara bagian alat-alat ini dengan tanah sampai didapatnya suatu harga tertentu sehingga tahanan aman bagi semua kondisi operasional. Untuk itu maka diperlukan adanya peralatan atau instalasi dalam sistem pembumian itu sendiri yang berguna untuk memperoleh potensial yang merata dalam semua bagian struktur dan peralatan, serta untuk menjaga agar orang yang berada di sekitar daerah instalasi tetap aman karena kondisi potensial yang sama setiap waktu.



Oleh karena itu, suatu Gardu Induk harus memiliki sistem pembumian yang aman dan handal sesuai dengan standar persyaratan yang berlaku. Maka perlu adanya suatu pengujian tingkat keamanan dan keandalan dari sistem pembumiannya. Sehubungan dengan hal ini penulis melakukan pengujian dari sistem pembumian pada suatu gardu induk khususnya sistem pembumian *grid* dan *grid-rod* untuk mengetahui tingkat keamanan dan keandalannya.

### **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana perbandingan tegangan sentuh maksimum sebenarnya (*mesh*) pada sistem pembumian *grid* dan *grid-rod*?
2. Bagaimana perbandingan besarnya nilai tahanan pembumian pada sistem pembumian *grid* dan *grid-rod*?

### **1.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu kinerja dari sistem *grid* dan *grid-rod* pada suatu gardu induk dimana yang akan dibahas secara khusus adalah perbandingan tegangan sentuh maksimum sebenarnya (*mesh*) pada sistem pembumian *grid* dan *grid-rod* dengan standar yang diizinkan berdasarkan standar kelistrikan serta perbandingan besarnya nilai tahanan pembumian pada sistem pembumian *grid* dan *grid-rod* dengan standar yang diizinkan berdasarkan standar kelistrikan.

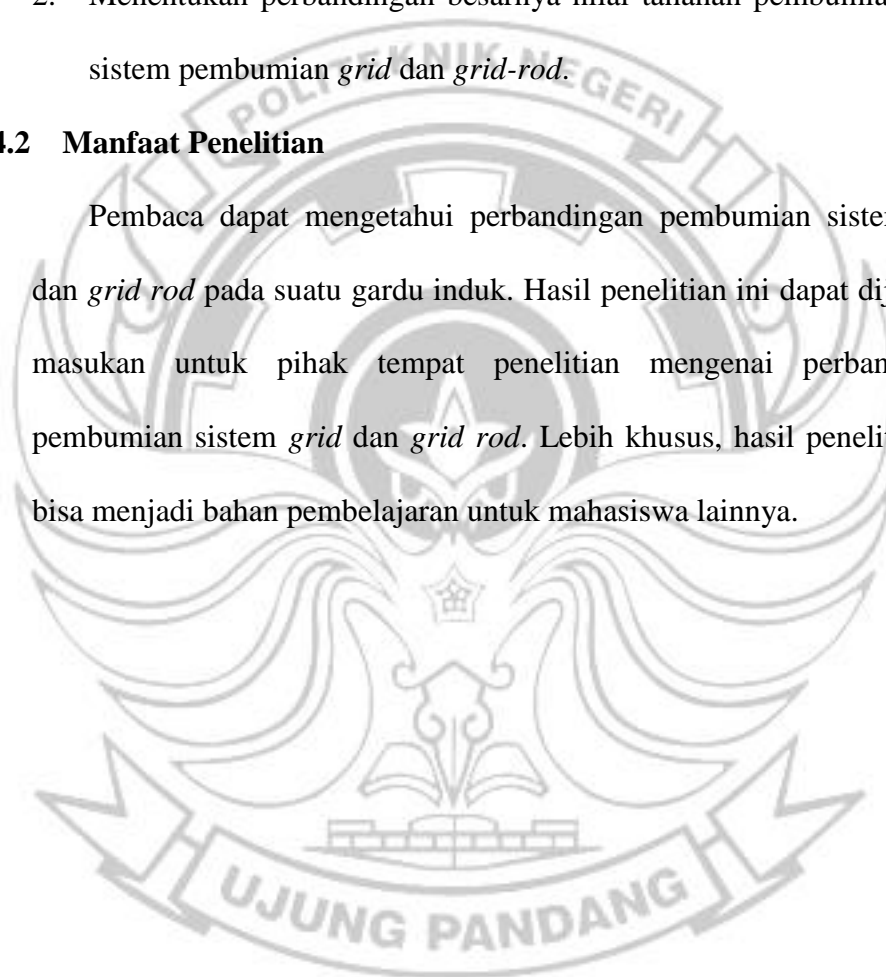
## 1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

### 1.4.1 Tujuan Penelitian

1. Menentukan perbandingan tegangan sentuh maksimum sebenarnya (*mesh*) pada sistem pembumian *grid* dan *grid-rod*.
2. Menentukan perbandingan besarnya nilai tahanan pembumian pada sistem pembumian *grid* dan *grid-rod*.

### 1.4.2 Manfaat Penelitian

Pembaca dapat mengetahui perbandingan pembumian sistem *grid* dan *grid rod* pada suatu gardu induk. Hasil penelitian ini dapat dijadikan masukan untuk pihak tempat penelitian mengenai perbandingan pembumian sistem *grid* dan *grid rod*. Lebih khusus, hasil penelitian ini bisa menjadi bahan pembelajaran untuk mahasiswa lainnya.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Pembumian

Pembumian peralatan adalah penghubungan bagian-bagian dari peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dilalui arus. Titik berat dari tujuan pembumian peralatan adalah untuk keselamatan orang yang berada dalam suatu daerah gardu induk pada saat terjadi suatu gangguan. Disamping itu pembumian juga bertujuan untuk mencegah kemungkinan terjadinya kerusakan pada peralatan akibat gangguan tersebut. Definisi pentanahan (*Grounding*), berdasarkan IEEE dictionary (standard 100), adalah melakukan koneksi, baik disengaja atau tidak disengaja, sirkuit listrik atau peralatan ke bumi, atau ke bodi konduksi yang ditempatkan di bumi. Hal ini dilakukan untuk mempertahankan potensial bumi pada konduktor yang terhubung dan mengalirkan arus tanah menuju dan dari bumi. Menurut T.S. Hutauruk (1991) [13]. “ Tujuan utama sistem pembumian adalah untuk mendapatkan tahanan kontak langsung ke tanah yang cukup kecil”. Untuk mengetahui sejauh mana tahanan kontak ke tanah dapat diperkecil, maka kita perlu rumus-rumus tahanan kontak ke tanah dari masing-masing sistem pembumian. J.M Nahman dan V.B Djorjevic (1997) berpendapat bahwa tahanan elektroda pembumian adalah salah satu parameter penting yang dapat menentukan kenaikan potensial pada peralatan yang terbuat dari metal. Selanjutnya beliau mengatakan bahwa tahanan pembumian dari grid yang ditanam pada kedalaman tertentu tergantung pada lapisan tanah tempat grid itu ditanam. Dalam kasus tanah uniform (homogen), bila kedalaman grid bertambah maka tahanan

pembumian menjadi berkurang. Tadjuddin (1998), dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa tegangan permukaan tanah yang timbul saat terjadi pengaliran arus gangguan ke tanah tergantung pada [11]:

- Parameter pembumian (jarak konduktor parallel  $D$  dan diameter elektroda pembumian,  $d$ .)
- Struktur tanah ( $p_1/p_2$ , serta ketebalan lapisan tanah bagian atas,  $H$ )

Menurut F.D Dawalibi, J.Ma, R.D. Southy berpendapat bahwa performa pentanahan system grid ditinjau dari tahanan pentanahan dan tegangan sentuh, tergantung pada struktur tanah. tahanan pentanahan system grid yang ditanam pada kedalaman tertentu tergantung pada lapisan tanah tempat grid itu ditanam. Untuk tanah uniform bila kedalaman grid bertambah maka tahanan pentanahan semakin berkurang. selain itu dengan sejumlah konduktor dalam grid akan menyebabkan tegangan permukaan tanah semakin kecil dan terdistribusi dengan baik. Menurut F. P Dawalibi, J.M.Ma, R.D Southy berpendapat bahwa performa pentanahan system grid ditinjau dari tahanan pentanahan dan tegangan sentuh, tergantung pada struktur tanah. Tanhanan pentanahan system grid yang ditanam pada kedalaman tertentu tergantung pada lapisan tanah tempat grid itu ditanam. Untuk tanah uniform bila kedalaman grid bertambah maka tahanan pentanahan semakin berkurang. Selain itu dengan sejumlah konduktor dalam grid akan menyebabkan tegangan permukaan tanah semakin kecil dan terdistribusi dengan baik. Pembumian digambarkan sebagai suatu pelaksanaan koneksi atau hubungan listrik yang sengaja dilakukan dari beberapa bagian instalasi listrik ke

bumi. Sistem pembumian merupakan rangkaian atau jaringan yang terdiri atas kutub pembumian (elektroda), hantaran penghubung (konduktor) sampai terminal pembumian, yaitu terminal atau titik dimana perangkat dihubungkan. Sistem pembumian ada dua macam yaitu pembumian sistem (netral) dan pembumian peralatan.

Pembumian peralatan merupakan tindakan pengamanan pada bagian-bagian komponen alat-alat listrik pada *switch yard* yang secara normal tidak dialiri arus listrik namun dalam kondisi tidak normal bisa dilalui arus listrik yaitu dengan cara menghubungkan instalasi yang diamankan dengan hantaran netral yang ditanahkan sedemikian rupa sehingga jika terjadi kegagalan isolasi, tegangan sentuh yang tinggi dapat dihindari sampai bekerjanya alat proteksi arus lebih. Sementara itu pembumian netral biasa dilakukan pada pembangkit listrik dan transformator daya pada gardu-gardu induk dan gardu-gardu distribusi.

Terkhusus pada pada Gardu Induk, sistem pembumian merupakan perlengkapan yang amat penting untuk menghindari bahaya-bahaya terhadap orang yang sedang berada didalam atau didaerah Gardu Induk tersebut.

### **2.1.1 Tujuan Sistem Pembumian**

Tujuan dari sistem pembumian berdasarkan IEEE Std 142<sup>TM</sup>-2007 adalah:

- a. Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.
- b. Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor sistem

dan bumi. Deteksi ini akan mengakibatkan beroperasinya peralatan otomatis yang memutuskan suplai tegangan dari konduktor tersebut.

### 2.1.2 Elektroda Pembumian

Elektroda pembumian adalah suatu penghantar yang membuat kontak langsung dengan tanah dengan menanamkannya dalam tanah, sehingga diperoleh jalan mengalirnya arus ke tanah yang sebaik mungkin apabila terjadi gangguan. Elektroda-elektroda ini dapat digunakan secara tunggal maupun *multiple* dan juga secara gabungan dari jenis-jenis elektroda yang berbeda dalam suatu sistem.

Adapun persamaan untuk mengukur ukuran minimum elektroda pembumian adalah sebagai berikut.

$$A = I_g \sqrt{\frac{33t}{\text{Log}_{10}\left(\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right)}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

A = Ukuran minimum elektroda pembumian (mm<sup>2</sup>)

I<sub>g</sub> = Arus gangguan ketanah (kA)

t = Lama gangguan (s)

T<sub>m</sub> = Suhu maksimum (°C)

T<sub>a</sub> = Suhu sekeliling tahunan maksimum (°C)

### 2.1.3 Konduktor Pembumian

Konduktor yang digunakan dalam sistem pembumian harus memenuhi beberapa syarat, yaitu:

- a. Memiliki daya hantar jenis (*conductivity*) yang cukup besar sehingga tidak akan memperbesar beda potensial lokal yang berbahaya.
- b. Memiliki kekerasan (kekuatan) secara mekanis pada tingkat yang tinggi terutama bila digunakan pada daerah yang tidak terlindung terhadap kerusakan fisik.
- c. Tahan terhadap peleburan dari keburukan sambungan listrik, walaupun konduktor tersebut akan terkena magnitudo arus gangguan dalam waktu yang lama.
- d. Tahan terhadap korosi.

Tabel 2.1 Nilai konduktivitas material

No.	Material	Nilai Konduktivitas ( $\Omega\text{-m}$ ) <sup>-1</sup>
1.	Perak (Ag)	$6,8 \times 10^7$
2.	Tembaga (Cu)	$6,0 \times 10^7$
3.	Emas (Au)	$4,3 \times 10^7$
4.	Aluminium (Al)	$3,8 \times 10^7$
5.	Kuningan (70%-30%Zn)	$1,6 \times 10^7$
6.	Besi (Fe)	$1,0 \times 10^7$
7.	Baja karbon (Ffe-C)	$0,6 \times 10^7$
8.	Baja tahan karat (Ffe-Cr)	$0,2 \times 10^7$

#### 2.1.4 Pembumian Sistem Grid

Pembumian *grid* merupakan salah satu sistem pembumian yang banyak digunakan pada gardu induk karena mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan sistem pembumian lainnya. Beberapa keuntungan tersebut antara lain pemasangannya lebih mudah terutama pada daerah berbatu, gradien tegangan pada sistem pembumian *grid* akan lebih rata.

Sistem pembumian *grid* dilakukan dengan cara menanamkan batang – batang konduktor sejajar dengan permukaan tanah pada kedalaman tertentu. Batang – batang konduktor tersebut terhubung satu dengan yang lainnya, sehingga membentuk beberapa buah *mesh*. Distribusi tegangan tergantung pada jarak elektroda paralel, makin besar jarak elektroda maka terdistribusi tegangannya makin tidak rata dan makin dekat jarak elektroda paralel maka terdistribusi tegangannya semakin merata.

Dalam sistem pentanahan *grid* sulit mencari nilai tahanan pentanahan, karena susunan *grid* agak kompleks. Sehingga digunakan metode bujur sangkar, dengan anggapan bahwa muatan yang tersebar pada permukaan konduktor yang membentuk *grid* adalah sama. Harga tahanan pentanahan *grid* akan menjadi rendah jika konduktor yang bersilangan saling bersentuh / disatukan sehingga membentuk sebuah plat.

Pada sistem ini batang–batang elektroda ditanam sejajar permukaan tanah, batang–batang ini terhubung satu sama lain. Dengan cara ini jumlah konduktor yang ditanam banyak sekali, maka bentuknya mendekati bentuk

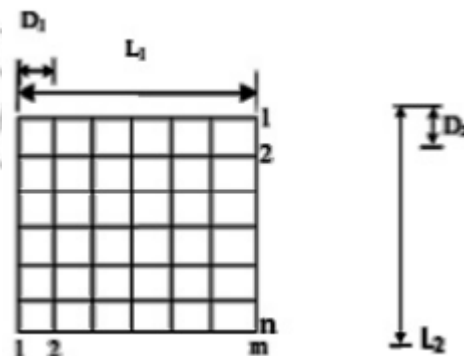


plat dan ini merupakan bentuk maksimum atau yang mempunyai harga tahanan paling kecil luas daerah tertentu, tetapi bentuk ini tidak efisien atau mahal. Pada sistem ini banyak konduktor akan tidak sebanding, dengan tahanannya oleh karena fungsi dan konduktor sebenarnya adalah menyalurkan arus ke dalam tanah. Bila elektroda saling berdekatan maka volume tanah tidak bisa menerima arus dan elektroda–elektroda tersebut, dengan kata lain volume tanah tidak terbatas kemampuannya untuk menerima arus.

Adapun persamaan untuk menghitung jumlah konduktor paralel (*grid*) yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$n_x = \frac{L_x}{D} \quad \text{dan} \quad n_y = \frac{L_y}{D} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana x dan y menunjukkan arah pemasangan elektroda *grid* berdasarkan sisi panjang dan pendek (x sisi panjang/sisi horizontal dan y sisi pendek/sisi vertical).



Gambar 2.1 Bentuk Grid Pentanahan

Sumber : IEEE 80, 2000

### 2.1.5 Pembumian Sistem Grid-Rod

Sistem *grid-rod* merupakan kombinasi antara sistem pembumian konduktor berbentuk kisi-kisi (*grid*), yang horizontal dengan permukaan tanah dan dibantu dengan batang-batang elektroda vertikal (*rod*) yang dihubungkan untuk menembus permukaan tanah lapisan bawah. Sistem penanaman elektroda *grid-rod* ini dipilih karena sistem gabungan ini dianggap cukup efektif untuk meratakan tegangan dipermukaan tanah saat terjadi gangguan tanah serta menghasilkan tahanan pentanahan yang rendah.

Y.L Chow, M.M Elsherbiny dan M.M.A Salama (1996)[14] mengatakan bahwa pada struktur tanah dua lapisan, hal yang penting adalah ketelitian hasil perhitungan tahanan pembumian. Dalam pentanahan sistem gabungan *grid-rod* nilai tahanan pembumian dipengaruhi oleh jumlah elektroda batang (*rod*) yang dihubungkan dengan *grid*.

Sistem pembumian *grid-rod* sebenarnya hampir sama dengan sistem *grid*, hanya saja pada sistem ini untuk memperkecil tahanan pentanahan, maka batang konduktor dapat diperbanyak penanamannya. Apabila terjadi arus gangguan ketanah, maka arus gangguan ini akan mengakibatkan naiknya gradient tegangan permukaan tanah. Besarnya tegangan maksimum yang timbul tersebut sebanding dengan tahanan pentanahan.

Seluruh panjang batang pembumian yang diperlukan pada sistem pembumian *grid-rod* dihitung dari pembagian arus gangguan ketanah

dengan kerapatan arus yang diizinkan. Kerapatan arus yang diizinkan pada permukaan batang pembumian dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$i = 3,1414 \times 10^{-5} d \sqrt{\frac{\delta \theta}{\rho t}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

$d$  = diameter konduktor (mm)

$\delta$  = panas spesifik rata-rata tanah (Watt.sekon/m<sup>2</sup> tiap °C)

$\theta$  = kenaikan suhu tanah yang diizinkan (°C)

$\rho$  = tahanan jenis tanah rata-rata ( $\Omega$ )

$t$  = lama waktu gangguan (sekon)

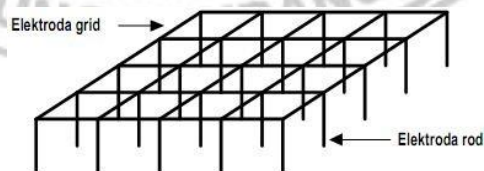
Sedangkan untuk menghitung jumlah batang (*rods*) minimum yang dibutuhkan dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$N_{min} = \frac{I_g}{L_{bixi}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

$N_{min}$  = jumlah batang (*rods*) minimum

$I_g$  = Arus gangguan ketanah (kA)



Gambar 2.2 Pentanahan Sistem *Grid-Rod*

Sumber :IEEE std 80, 2000 : 168

### 2.1.6 Tahanan Penumian

Menurut Buku Pedoman Pemeliharaan Primer GI Kepdir 0520-2.K.Dir.2014 (2014), batasan nilai penumian pada serandang adalah maksimal 1 Ohm untuk semua level tegangan.

Tabel 2.2 Rekomendasi pengukuran tahanan penumian serandang

Peralatan yang Diperiksa	Hasil Ukur	Rekomendasi
Penumian ( <i>Grounding</i> )	$\leq 1$ Ohm	Lanjutkan pengukuran rutin 1 tahunan
	$\geq 1$ Ohm	Lakukan perbaikan

Dalam IEEE Std 80-2000, penumian yang ideal harus memberikan nilai tahanan penumian mendekati 0 atau  $\leq 1$  ohm untuk gardu induk bertegangan tinggi. Sebagai perkiraan pertama, sebuah nilai minimum dari tahanan penumian gardu induk pada tanah yang seragam (*uniform*) untuk lapisan pertama permukaan tanah dapat dihitung dengan persamaan :

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

$R_g$  : Tahanan penumian grid ( $\Omega$ )

$\rho$  : Tahanan jenis tanah ( $\Omega$ )

$A$  : Luas area penumian ( $m^2$ )

Kemudian pada lapisan kedua dengan adanya gabungan antara *grid* dan batang *rod* untuk tanah yang seragam, jumlah konduktor *grid* dan

konduktor batang *rod* yang ditanam pada kedalaman tertentu, diperoleh persamaan sebagai berikut [Laurent, P.G., 1951 dan Nieman, J., 1952].

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L} \dots \dots \dots (2.6)$$

Persamaan tahanan pembumian *grid* yang diformulasikan oleh Nieman, J.,(1952) yaitu :

$$R_g = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

- R : Tahanan pembumian gardu induk (Ohm)
- r : Jari-jari luas area pembumian (m)
- L : Panjang total konduktor dan batang pembumian (m)
- $\rho$  : Tahanan jenis tanah (Ohm-m)

Perhitungan tahanan prmbumian *grid* untuk kedalaman tertentu adalah  $0 < h < 2.5$  m berdasarkan Laurent, P.G,(1951)

$$R_g = \rho \frac{1}{8r} \left( 1 + \frac{r}{2.5h+r} \right) \dots \dots \dots (2.8)$$

Dari persamaan 2.1 dan 2.2 diatas dikombinasikan IEEE Std 80-2000 diperoleh persamaan untuk konduktor  $0 < h < 2.5$  m (dalam dokumen kontrak 0.3 – 0.8) m :

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

- h : Kedalaman penanaman konduktor (m)
- L<sub>T</sub> : Total panjang konduktor dan batang konduktor yang ditanam (m)
- A : Luas daerah pembumian *grid* (m<sup>2</sup>)

$$L_T = L_R + L_g \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

$L_R$  : Total panjang *rods* yang ditanam

$L_g$  : Total panjang konduktor yang ditanam

$$L_R = N_r \times L_r \dots \dots \dots (2.11)$$

$$L_g = (n \times L) + (n \times W) \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

$N_r$  : *No of ground rods*

$L_r$  : *Length of ground rods*

$n$  : *Number of parallel conductors*

$L$  : *Length grid*

$W$  : *Width grid*

$L_1$  : Tambahan konduktor yang ditanam

Secara teoretis, tahanan dari bumi adalah nol karena luas penampang bumi tak terhingga. Tetapi kenyataannya tidak demikian, artinya tahanan pembumian nilainya tidak nol. Hal ini terutama disebabkan oleh adanya tahanan kontak antara alat pembumian dengan bumi dimana alat tersebut dipasang.

Tahanan pembumian selain ditimbulkan oleh tahanan kontak juga ditimbulkan oleh tahanan sambungan antara alat pembumian dengan kawat penghubungnya. Unsur lain yang menjadi bagian dari tahanan pembumian adalah tahanan dari bumi yang ada di sekitar alat pembumian yang menghambat aliran muatan listrik (arus listrik) yang keluar dari alat

pembumian tersebut. Arus listrik yang keluar dari alat pembumian ini menghadapi bagian-bagian tanah yang berbeda tahanan jenisnya. Untuk jenis tanah yang sama, tahanan jenisnya dipengaruhi oleh kedalamannya. Makin dalam letaknya, umumnya makin kecil tahanan jenisnya, karena komposisinya makin padat dan umumnya juga lebih basah. Oleh karena itu, dalam memasang batang pembumian, makin dalam pemasangannya akan makin baik hasilnya dalam artian akan didapat tahanan pembumian yang makin rendah.

#### **2.1.7 Tahanan Jenis Tanah**

Faktor keseimbangan antara tahanan pembumian dan kapasitansi di sekeliling adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan  $\rho$ . Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tidaklah sama. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu sebagai berikut.

- Keadaan struktur tanah antara lain struktur geologinya seperti tanah liat, tanah rawa, tanah berbatu, tanah berpasir, tanah gembur dan lain-lain.
- Unsur kimia yang terkandung dalam tanah, seperti garam, logam dan mineral-mineral lainnya.
- Kelembapan tanah seperti basah dan kering.

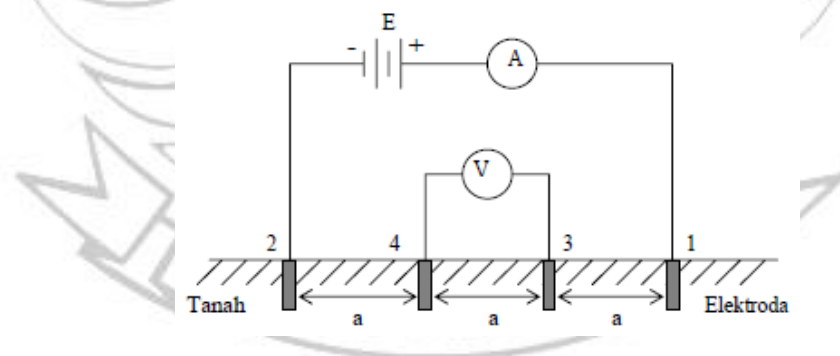
Menurut Hutauruk (1991) untuk mengetahui nilai-nilai tahanan jenis tanah yang akurat harus dilakukan pengukuran secara langsung pada

lokasi yang digunakan untuk sistem pembumian karena struktur tanah yang sesungguhnya tidak sesederhana yang diperkirakan, untuk setiap lokasi yang berbeda mempunyai tahanan jenis tanah yang tidak sama.

Tabel 2.3 Nilai tahanan jenis tanah

Jenis Tahan	Tanah Rawa	Tanah Liat dan Ladang	Pasir Basah	Kerikil Basah	Pasir Kerikil Kering	Tanah Berbatu
Tahanan jenis tanah (ohm)	30	100	200	500	1000	3000

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan cara metode empat titik (*four electrode method*). Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode ini menggunakan empat buah elektroda, sebuah catu daya (baterai), sebuah *amperemeter* dan sebuah *voltmeter*, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Rangkaian pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode empat titik

Pengukuran tahanan jenis tanah pada lokasi gardu induk diambil pada beberapa titik lokasi. Tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:



$$\rho = 2\pi\alpha R \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

$\rho$  = tahanan jenis rata-rata tanah (Ohm-m)

$\alpha$  = jarak antara batang elektroda yang terdekat (m)

R = besar tahanan yang terukur (Ohm)

## 2.2 Pengaruh Besaran Listrik Terhadap Tubuh Manusia

Tubuh manusia merupakan penghantar, maka berlakunya hukum ohm keterangan besarnya arus yang lewat dalam tubuh manusia tergantung dari besarnya tegangan sentuh dan impedansi tubuh atau dapat ditulis sebagai berikut :

$$I = \frac{E}{Z} \dots\dots\dots \text{Ampere} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

I = Arus kejut (Amp)

E = Tegangan sentuh (Volt)

Z = Impedansi Total Tubuh (Ohm)

Dari penyelidikan diketahui bahwa tubuh manusia bersifat penghantar, yang mempunyai impedansi berkisar antara 500 - 100.000 ohm, oleh sebab itu bila terjadi kontak langsung salah satu bagian tubuh dengan bodi peralatan yang menjadi bertegangan karena kegagalan isolasi, maka akan ada arus yang mengalir pada tubuh. Salah satu tindakan pengaman untuk menghindari dari bahaya akibat sentuhan adalah dengan mengupayakan tahanan peralatan

serendahnya. Berikut beberapa jenis arus jika terjadi kecelakaan terhadap tubuh manusia.

- Arus Persepsi, dimana pada *Electrical Testing Laboratory New York* tahun 1933 telah dilakukan pengujian terhadap 40 orang laki-laki dan perempuan, kemudian didapatkan arus rata-rata yang disebut *threshold of perception current* yaitu untuk laki-laki sebesar 1,1 mA sedangkan untuk perempuan sebesar 0,7 mA.
- Arus Mempengaruhi Otot, dimana tegangan yang menyebabkan tingkat arus persepsi naik, maka orang akan merasa sakit dan kalau terus dinaikkan 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 dan diperoleh angka rata-rata dari arus yang dipengaruhi otot yaitu untuk laki-laki sebesar 16 mA sedangkan untuk perempuan sebesar 10,5 mA.
- Arus reaksi adalah arus terkecil yang dapat mengakibatkan orang menjadi terkejut, hal ini cukup berbahaya karena dapat mengakibatkan kecelakaan sampingan. Karena terkejut orang dapat jatuh dari tangga, melempar peralatan yang sedang dipegang yang dapat mengenai bagian-bagian instalasi bertegangan tinggi sehingga terjadi kecelakaan yang lebih fatal.

- Arus Fibrilasi terjadi apabila yang melewati tubuh manusia lebih besar dari arus yang berpengaruh otot dapat mengakibatkan orang menjadi pingsan bahkan sampai mati. Hal ini disebabkan arus listrik tersebut mempengaruhi jantung yang disebut *ventricular Febrilation* yang menyebabkan jantung berhenti bekerja dan peredaran darah tidak jalan sehingga segera akan mati.

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

Khususnya pada gardu-gardu induk kemungkinan terjadinya bahaya terutama disebabkan oleh timbulnya gangguan yang menyebabkan arus mengalir ke bumi. Arus gangguan ini akan mengalir pada bagian – bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam bumi di sekitar gardu induk. Arus gangguan tersebut menimbulkan gradien tegangan di antara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan bumi, dan juga gradien tegangan pada permukaan bumi itu sendiri. Bahaya-bahaya yang timbul pada sistem pembumian biasanya disebabkan oleh tegangan dan arus yang melalui tubuh manusia.

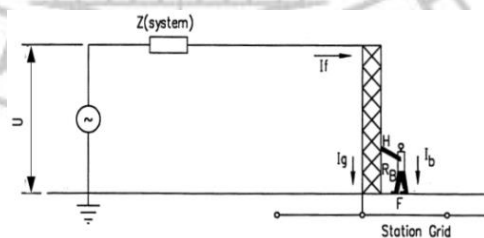
Untuk menganalisis lebih lanjut akan ditinjau beberapa kemungkinan terjadinya tegangan dan kondisi orang yang sedang berada di dalam dan di sekitar gardu induk tersebut.

Sulit untuk menentukan secara tepat mengenai perhitungan tegangan yang mungkin timbul akibat gangguan ke bumi terhadap orang yang sedang berada di dalam atau disekitar gardu induk, karena banyaknya faktor yang mempengaruhi dan tidak diketahui.

Untuk menganalisis keadaan ini, diambil beberapa pendekatan sesuai dengan kondisi orang yang sedang berada didalam atau disekitar gardu induk tersebut pada saat terjadi gangguan ke bumi. Pada hakekatnya perbedaan tegangan selama mengalirnya arus gangguan tanah dapat digambarkan sebagai: tegangan sentuh, tegangan *mesh*, tegangan langkah dan tegangan langkah sebenarnya.

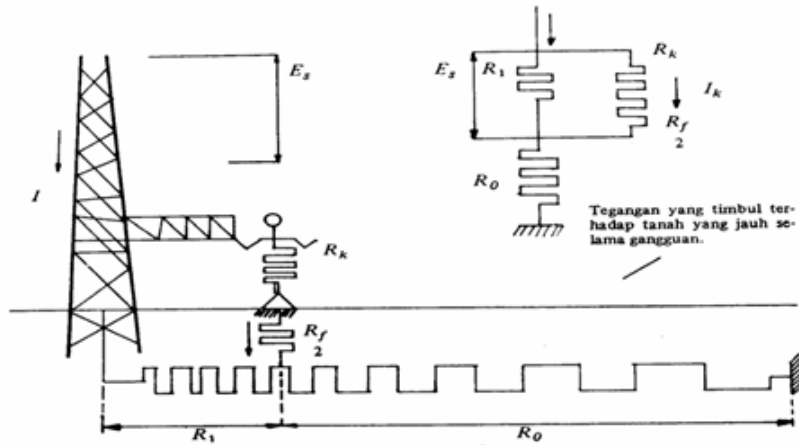
### 2.2.1 Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat di antara suatu obyek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa obyek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pembumian / *grid* pembumian yang berada di bawahnya, seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tegangan Sentuh  
Sumber : IEEE std 80, 2000 : 17

Besar arus gangguan dibatasi oleh tahanan orang dan tahanan kontak ke bumi dari kaki orang tersebut. Gambar 2.5 memperlihatkan tegangan sentuh dan rangkaian ekivalennya.



Gambar 2.5. Tegangan sentuh dengan rangkaian ekivalennya

Dari rangkaian ekivalen dapat dilihat hubungan sebagai berikut:

$$E_s = \left( R_k + \frac{R_f}{2} \right) \cdot I_k \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

$E_s$  = tegangan sentuh, (Volt)

$R_k$  = tahanan badan orang (= 1000 Ohm)

$R_f$  = tahanan kontak ke bumi dari satu kaki pada bumi yang diberi lapisan koral 10 cm (= 3000 Ohm)

$I_k$  = besar arus yang mengalir melalui badan (Ampere)

Tahanan badan orang telah diselidiki oleh beberapa ahli sebagai harga pendekatan diambil  $R_k = 1000$  Ohm. Tahanan  $R_f$  mendekati harga  $3 \rho_s$  dimana  $\rho_s$  adalah tahanan jenis tanah disekitar permukaan.

Arus  $I_k$  diambil dengan harga  $I_k = 0,116/\sqrt{t}$ .

Di dalam gardu induk, tahanan jenis tanah di sekitar permukaan diberi lapisan koral (batu kerikil) 10 cm dengan tujuan agar tanahnya stabil 3000 Ohm.

Manusia dengan berat badan 50 dan 70 Kg yang berada di antara satu objek dapat dihitung tegangan sentuh dinyatakan dengan:

$$E_{\text{sentuh}70} = (1000 + 1,5 \text{ cs} \times \rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$E_{\text{sentuh}50} = (1000 + 1,5 \text{ cs} \times \rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan :

$E_{t50}$  = tegangan sentuh untuk berat badan manusia 50 kg

$E_{t70}$  = tegangan sentuh untuk berat badan manusia 70 kg

$C_s$  = faktor reduksi nilai tahanan permukaan tanah

$\rho_s$  = tahanan jenis permukaan material/lapisan batu koral (Ohm-m)

$t$  = waktu gangguan tanah/waktu kejut (detik)

Apabila tidak ada pengaman yang digunakan pada lapisan permukaan dimana  $C_s = 1$  dan  $\rho_s = \rho$ .  $C_s$  dapat dianggap sebagai faktor koreksi untuk menghitung efektif kaki perlawanan di hadapan dengan ketebalan hingga permukaan material.

Faktor reduksi dari nilai tahanan permukaan tanah diformulasikan [IEEE 80-2000]:

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \left(\frac{\rho}{\rho_s}\right)\right)}{2hs + 0,09} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan :

$hs$  = ketebalan lapisan batu koral (m)

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

$\rho_s$  = tahanan jenis permukaan material/lapisan batu koral  
(Ohm-m)

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \dots \dots \dots (2.19)$$

Tabel 2.5 Tegangan sentuh yang diizinkan dan lama gangguan

Lama Gangguan (detik)	Tegangan Sentuh yang Diizinkan (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

Sumber : IEEE Std 80, 2000

### 2.2.2 Tegangan Mesh

Tegangan *mesh* atau tegangan sentuh maksimum sebenarnya didefinisikan sebagai tegangan peralatan yang diketanahkan terhadap tengah tanah arah yang dibentuk oleh kisi kisi (*center of mesh*) selama gangguan tanah. Tegangan *mesh* ini merupakan tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegangan sentuh dalam system pengamanan gardu induk yang dianggap aman.

Nilai tegangan *mesh* tergantung pada faktor geometrik  $K_m$ , faktor koreksi  $K_i$ , Tahanan jenis tanah  $\rho$  dan rata arus per unit dengan panjang sistem pembumian penghantar.

Adapun persamaan untuk mencari nilai  $E_{mesh}$  yaitu sebagai berikut.

$$E_{mesh} = K_m K_i \rho \frac{I_g}{L} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

$\rho$  = tahanan jenis tanah ( $\Omega$ )

$I_g$  = arus grid maksimum (A)

$L$  = panjang total konduktor (m)

$K_i$  = faktor koreksi tegangan *mesh* untuk nilai pertambahan arus pada *grid*, berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$= 0.65 + 0.72 \times n \dots\dots\dots(2.21)$$

$K_m$  = faktor geometrik tegangan *mesh*

Arus grid maksimum, yaitu arus terbesar yang mengalir pada rangkaian pembumian grid saat terjadi gangguan fasa ke tanah, dapat dituliskan pada persamaan di bawah ini:

$$I_G = D_f \times S_f \times I_f \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan :

$I_G$  = Arus grid maksimum (A)

$D_f$  = Decrement factor, nilainya ditentukan berdasarkan waktu gangguan = 1

$I_f$  = Nilai arus gangguan tanah = 12000 A

$S_f$  = Faktor pembagi arus gangguan = 0.7



Faktor geometrik Km dapat dituliskan pada persamaan di bawah ini:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16 \times h \times d} + \frac{(D+2h)^2}{8 \times D \times d} - \frac{h}{4 \times d} \right) + \frac{k_{ii}}{\sqrt{1+h}} \times \ln \left( \frac{8}{\pi(2 \times n - 1)} \right) \right] \dots \dots (2.23)$$

Keterangan :

D = jarak antara konduktor paralel pada kisi-kisi/*grid* (m)

d = diameter pembumian

n = koefisien jumlah konduktor paralel dalam kisi-kisi utama

h = kedalaman penanaman konduktor (m)

Untuk *grid-grid* dengan parameter pembumian *rod*, atau *grid-grid* dalam sudut *rod* pembumian, sebagai parameter dan bagian luar area *grid*,

$K_{ii} = 1$  dengan pembumian  $rod = 1$

Untuk *grid* acuan dapat dituliskan pada persamaan dibawah ini:

$$K_h = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}} \dots \dots \dots (2.24)$$

Keterangan :

$h_0 = 1$  m (referensi kedalaman jaring-jaring).

h = kedalaman penanaman konduktor (m).

Menurut Thapar, dkk dalam IEEE std 80-2000 , penggunaan empat *grid* dapat efektif pada penghantar *grid* yang diparalel dengan sebutan *n*. Dapat dibentuk menjadi bujur sangkar maupun empat persegi panjang (*rectangular grid*) atau penomoran yang tidak

beraturan *grid-grid* pada penghantar paralel yang ekuivalen dengan bujur sangkar *grid* dituliskan dengan persamaan:

$$n = n_a \times n_b \times n_c \times n_d \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan :

$$n_a = \frac{2 \times L_c}{L_p} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \sqrt{A}}} \dots\dots\dots (2.27)$$

$n_c = 1$  untuk grid berbentuk persegi dan persegi panjang

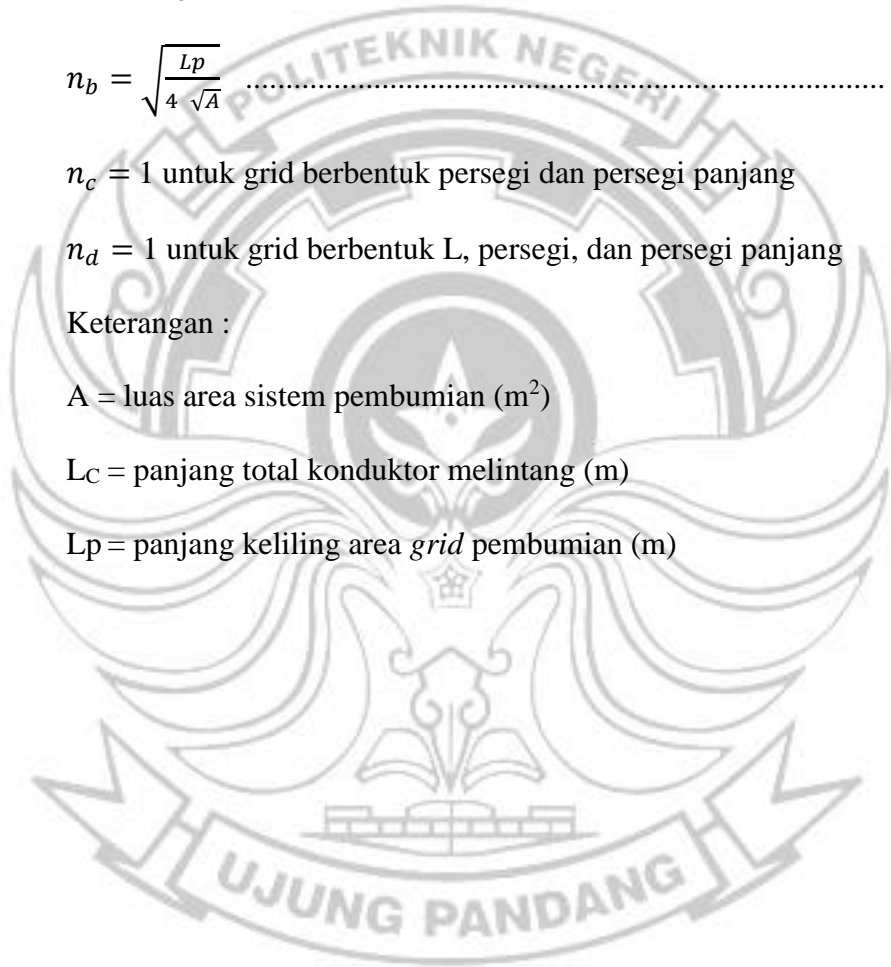
$n_d = 1$  untuk grid berbentuk L, persegi, dan persegi panjang

Keterangan :

A = luas area sistem pembumian (m<sup>2</sup>)

L<sub>c</sub> = panjang total konduktor melintang (m)

L<sub>p</sub> = panjang keliling area *grid* pembumian (m)



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat untuk melakukan kegiatan penelitian ini adalah pada Gardu Induk Tallo Lama. Waktu pelaksanaan kegiatan penelitian ini dimulai pada bulan Desember 2016 sampai dengan bulan Agustus 2017.

### 3.2 Prosedur Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dari masalah hingga hasil atau kesimpulan membentuk suatu alir yang sistematis yang dinamakan alir metode penelitian. Diagram alir metode penelitian pada tugas akhir ini dimaksudkan untuk mempermudah proses penelitian.

Diagram alir ini digunakan sebagai pedoman dalam melakukan penelitian agar tidak kehilangan arah serta tidak menyimpang dari tujuan awal sehingga hasil yang didapat sesuai dengan perencanaan sebelumnya.

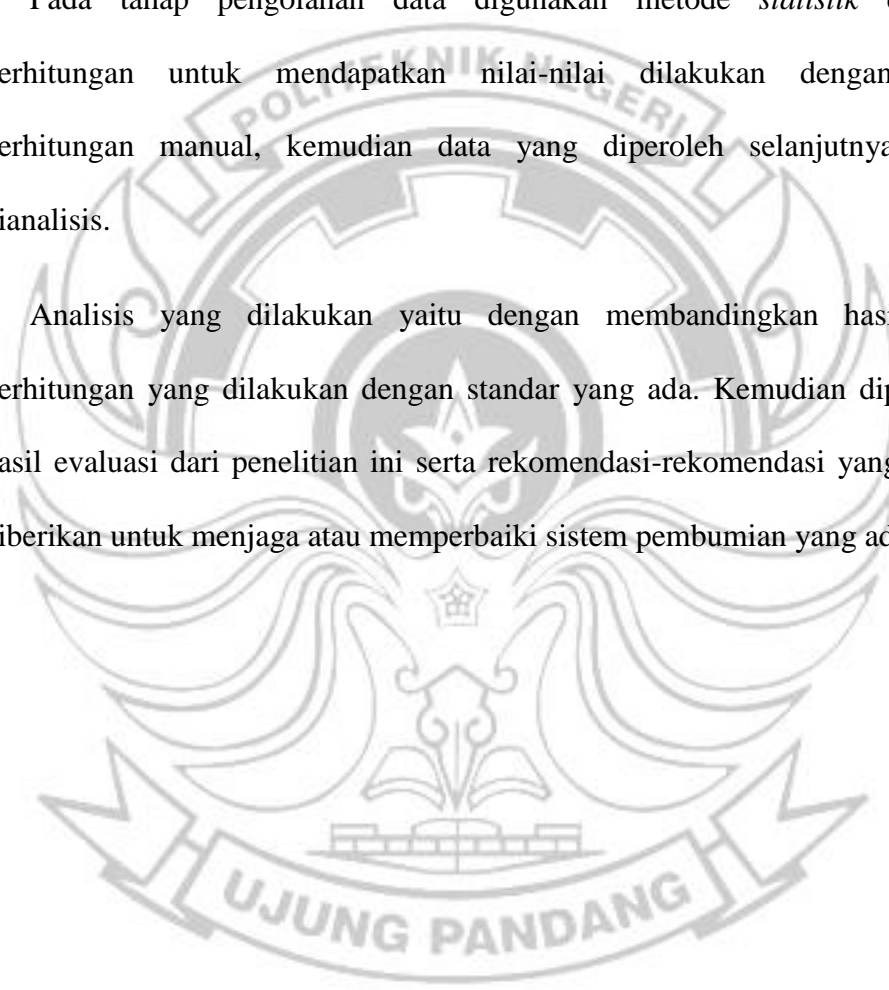
Penelitian dimulai dari melakukan studi literatur. Studi literatur ini bertujuan untuk mempelajari mengenai pbumian sistem *grid* dan *grid-rod*, baik itu dari internet, buku, maupun jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penulisan dari tugas akhir ini.

Tahapan selanjutnya adalah studi lapangan. Pada tahap ini yang dilakukan adalah peninjauan langsung ke lapangan yakni pada Gardu Induk Tallo Lama, tempat dimana dilakukan pengambilan data-data yang diperlukan.

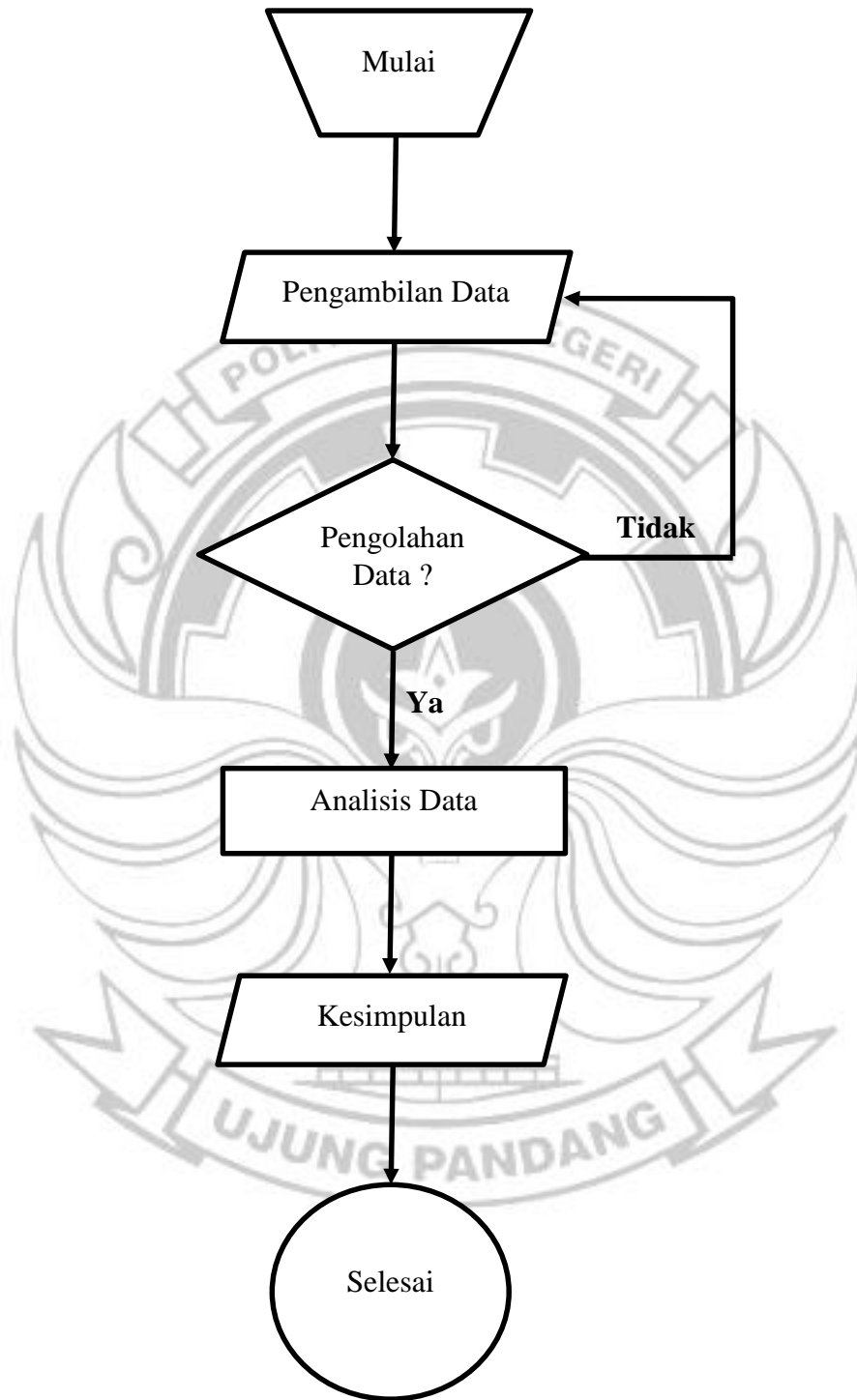
Kemudian pada tahap pengambilan data yang dilakukan adalah mengunjungi lokasi yang di jadikan objek penulisan tugas akhir melakukan pengukuran pada objek serta melakukan tanya jawab dengan staf ataupun teknisi yang bersangkutan dan mencari data-data tambahan dari literatur.

Pada tahap pengolahan data digunakan metode *statistik* dimana perhitungan untuk mendapatkan nilai-nilai dilakukan dengan cara perhitungan manual, kemudian data yang diperoleh selanjutnya akan dianalisis.

Analisis yang dilakukan yaitu dengan membandingkan hasil dari perhitungan yang dilakukan dengan standar yang ada. Kemudian diperoleh hasil evaluasi dari penelitian ini serta rekomendasi-rekomendasi yang dapat diberikan untuk menjaga atau memperbaiki sistem pembumian yang ada.



Berikut adalah gambar diagram alir prosedur penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penulisan

### 3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan cara yang digunakan penulis untuk mendapatkan data dalam suatu penulisan. Adapun teknik pengumpulan data yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Observasi

Pada proses melakukan observasi, penulis melakukan peninjauan langsung ke tempat yang dijadikan objek penulisan yakni pada Gardu Induk Tallo Lama.

2. Studi literatur

Pada studi literatur, penulis mendapatkan informasi dari berbagai sumber, baik itu dari jurnal-jurnal maupun dari buku-buku yang pembahasannya sesuai dengan judul maupun tujuan dari tugas akhir ini.

3. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan cara melakukan tanya jawab dengan narasumber untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan objek yang diteliti. Narasumber harus orang yang benar-benar memahami objek yang dijadikan sebagai topik dari kegiatan wawancara tersebut.

### 3.4 Metode Analisis Data

Pada metode analisis data, penulis akan membandingkan antara besarnya tegangan sentuh maksimum sebenarnya (*mesh*) sistem pembumian *grid* dan *grid-rod* dan membandingkan besarnya nilai tahanan pembumian sistem pembumian *grid* dan *grid-rod* dengan standar yang diizinkan berdasarkan standar kelistrikan yang berlaku.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

Data hasil pengamatan di Gardu Induk Tallo Lama mengenai jenis tanah, tegangan *mesh* sistem *grid* dan tegangan *mesh* sistem *grid-rod* pada gardu induk tersebut seperti yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Spesifikasi Tanah Gardu Induk Tallo Lama

Kedalaman (m)	Tipe Tanah	Tahanan Jenis Tanah ( $\Omega$ )
0,5	Tanah liat/( <i>moist soil</i> )	100
5	Tanah liat/( <i>moist soil</i> )	100
5>	Tanah liat/( <i>moist soil</i> )	100

Pada penelitian ini digunakan data sekunder yaitu data hasil pengukuran yang dilakukan oleh PT. PLN (persero) yang meliputi:

- Nilai Tahanan jenis tanah. Tanah liat 100 ohm
- Ukuran daerah pembumian 53 x 39 m

### 4.2 Pembahasan

#### 4.2.1 Luas Daerah Pembumian

Luas daerah pembumian gardu induk Tallo Makassar dihitung dengan menggunakan data ukuran daerah pembumian itu sendiri. Gardu induk tersebut mempunyai ukuran sebagai berikut:

Panjang  $P = 53$  meter dan Lebar  $L = 39$  meter

Jadi luasnya adalah hasil kali antara panjang dengan lebar yaitu:

$$A = P \times L$$

$$A = (53m) \times (39 m)$$

$$A = 2067 m^2$$

Jadi luas daerah pembumian gardu induk Tallo Lama adalah 2067  $m^2$ .

#### 4.2.2 Tahanan Jenis Tanah.

Berdasarkan tabel 4.1,  $\rho = 100 \Omega$  dan karena pada permukaan tanahnya berupa tanah liat (*moist soil*), maka nilai tahanan jenis tanahnya dinyatakan sama ( $\rho_s = 100 \Omega$ ).

#### 4.2.3 Ukuran Minimum Elektroda Pembumian

Untuk mengukur ukuran minimum konduktor pembumian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1), dengan ketentuan bahwa tegangan kerja gardu induk Tallo Lama adalah 150 kV, sedangkan waktu gangguan maksimum direncanakan sebesar  $t = 1$  detik dan arus gangguan ke tanah adalah sebesar  $I_g = 1200$  A.

Diketahui :

$$I = 1200 \text{ A}$$

$$t = 1 \text{ s}$$

$$T_m = 1083^{\circ}\text{C}$$

$$T_a = 30^{\circ}\text{C}$$



Dengan memasukkan nilai-nilai di atas diperoleh :

$$A = I_g \sqrt{\frac{33t}{\text{Log}_{10} \left( \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)}}$$

$$A = 1200 \sqrt{\frac{33.1}{\text{Log}_{10} \left( \frac{1083 - 30}{234 + 30} + 1 \right)}}$$

$$A = 1200 \sqrt{\frac{33}{\text{Log}_{10} \left( \frac{1053}{264} + 1 \right)}}$$

$$A = 1200 \sqrt{\frac{33}{\text{Log}_{10}(3,99 + 1)}}$$

$$A = 1200 \sqrt{\frac{33}{0,70}}$$

$$A = 1200 \sqrt{47,27}$$

$$A = 1200 \times 6,88$$

$$A = 8.250,48 \text{ Circular mil}$$

$$A = \frac{8.250,48}{1973} \text{ mm}^2$$

$$A = 4,18 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$4A = \pi d^2$$

$$16,72 = 3,14d^2$$

$$d^2 = \frac{16,72}{3,14}$$

$$d^2 = 5,32$$

$$d = 2,31 \text{ mm}$$

Diameter minimum konduktor/elektroda pbumian d adalah 2,31 mm. Dalam hal ini digunakan diameter konduktor kisi-kisi sebesar  $d = 15 \text{ mm}$  atau  $0,015 \text{ m}$ .

#### **4.2.4 Tegangan Sentuh yang diizinkan**

Berdasarkan IEEE standar 80 bahwa Tegangan Sentuh yang diizinkan untuk lama gangguan 1 detik adalah 626 volt (tabel 2. 5).

#### **4.2.5 Panjang Elektroda Pbumian Grid**

Ditetapkan suatu persyaratan bahwa tegangan sentuh yang diizinkan harus lebih besar dari tegangan sentuh yang terjadi. Dengan demikian dari persyaratan ini maka sebagai perhitungan awal digunakan jarak antara konduktor paralel (kisi-kisi) sebesar  $D = 6 \text{ meter}$ . Dengan asumsi ini maka sistem pbumian yang direncanakan dengan ukuran  $53 \times 39 \text{ meter}$  dapat dihitung jumlah konduktor parallel (*grid*) yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan (2.2) dan (2.12) sebagai berikut:

Untuk jarak antara konduktor paralel  $D = 6$  meter maka diperoleh jumlah konduktor paralel sebagai berikut:

$$n_{AB} = n_x = \frac{53}{6} = 9 \text{ batang}$$

$$n_{Ac} = n_{xy} = \frac{39}{6} = 7 \text{ batang}$$

$$n = \sqrt{n_{AB} \times n_{AC}} = \sqrt{9 \times 7} = \sqrt{63} = 7,94 = 8$$

$$Lg = (n \times L) + (n \times W)$$

$$= (9 \times 53 + 7 \times 39)$$

$$= 750 \text{ meter}$$

#### 4.2.6 Jumlah Minimum Batang Elektroda Pembumian (Rod)

Seluruh panjang batang pembumian yang diperlukan dihitung dari pembagian arus gangguan ke tanah dengan kerapatan arus yang diizinkan. Kerapatan arus yang diizinkan pada permukaan batang pembumian dapat dihitung dengan persamaan (2.3) berikut ini.

Diketahui :

$$d = 15 \text{ mm}^2$$

$$\delta = 1,75 \times 10^6 \text{ Watt .detik per m}^2 \text{ tiap } ^\circ\text{C}.$$

$$\theta = 50 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\rho = 100 \text{ } \Omega$$

$$t = 1 \text{ s}$$

Dengan menggunakan data-data di atas diperoleh

$$i = 3,1414 \times 10^{-5} d \sqrt{\frac{\delta \cdot \theta}{\rho \cdot t}}$$

$$i = 3,1414 \times 10^{-5} \times 15 \sqrt{\frac{1,75 \times 10^6 \times 50}{100}}$$

$$i = 47,2 \times 10^{-5} \sqrt{875.000}$$

$$i = 47,2 \times 10^{-5} \times 935,414$$

$$i = 4,415 \times 10$$

$$i = 0,4415 \text{ A/cm}$$

Jadi kerapatan arus yang diizinkan adalah 0,4415 A/cm.

Langkah selanjutnya adalah menentukan panjang batang pbumian.

Dalam analisis ini digunakan batang elektroda pbumian (*rod*) masing-masing 3,5 meter, maka jumlah batang minimum yang dibutuhkan dihitung berdasarkan persamaan (2.4) dan (2.11) berikut ini.

$$N_{\min} = \frac{I_g}{L_{bi} \cdot xi}$$

$$N_{\min} = \frac{10 \times 10^3}{3,5 \times 100 \times 0,4415} = \frac{10^4}{154,525}$$

$$N_{\min} = 64,7 \approx 65 \text{ batang}$$

Panjang seluruh batang pembumian *rod* yaitu :

$$\begin{aligned}L_r &= \text{jumlah batang} \times \text{panjang batang} \\ &= 65 \times 3,5 \\ &= 227,5 \text{ meter.}\end{aligned}$$

Dikalikan 1,15 sehingga panjang batang pembumian

$$\begin{aligned}L_R &= N_r \times L_r \\ &= 1,15 \times 227,5 \\ &= 261,625 \\ &= 262 \text{ m.}\end{aligned}$$

Panjang total konduktor pembumian dihitung dengan persamaan (2.10) berikut ini.

$$\begin{aligned}L_T &= L_g + L_R \\ &= 750 + 262 \\ &= 1012 \text{ meter.}\end{aligned}$$

Panjang total konduktor pembumian **L= 1012 meter.**

#### 4.2.7 Menentukan Tegangan Mesh

Untuk menentukan tegangan mesh, digunakan persamaan (2.20 - 2.23). Faktor koreksi ketidakrataan kecepatan arus ( $K_{ii}$ ), Faktor koreksi ketidakrataan kerapatan arus ( $K_i$ ), faktor geometri dari elektroda ( $K_m$ ), serta tegangan mesh ( $E_{mesh}$ ) masing masing dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Untuk  $D = 6$  m,  $d = 0.015$  m dan  $h = 0.8$  m.

Menentukan faktor koreksi ketidakrataan kecepatan arus ( $K_{ii}$ )

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}}$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2.18)^{\frac{2}{18}}}$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(36)^{0,111}}$$

$$K_{ii} = 0,67$$

Menentukan faktor koreksi ketidakrataan kerapatan arus ( $K_i$ )

$$K_i = 0,65 + 1,72n$$

$$K_i = 2,02$$

Menentukan faktor geometri dari elektroda ( $K_m$ )

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ L_n \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{\sqrt{1+h}} L_n \frac{8}{\pi(2n-1)} \right]$$

$$K_m = \frac{1}{2,3,14} \left[ L_n \left( \frac{6^2}{16,0,8,0,015} + \frac{(6+2,0,8)^2}{8,6,0,015} - \frac{0,8}{4,0,015} \right) + \frac{0,672}{1,341} L_n \frac{8}{3,14(2,18-1)} \right]$$

$$K_m = \frac{1}{6,28} \left[ L_n \left( \frac{36}{0,196} + \frac{(6+1,6)^2}{0,72} - \frac{0,8}{0,06} \right) + 0,501 \cdot L_n \frac{8}{3,14(36-1)} \right]$$

$$K_m = 0,159 \left[ L_n \left( 183,67 + \frac{(7,6)^2}{0,72} - 13,33 \right) + 0,501 \cdot L_n \frac{8}{3,14(35)} \right]$$

$$K_m = 0,159 \left[ L_n \left( 183,67 + \frac{57,76}{0,72} - 13,33 \right) + 0,501 \cdot L_n \frac{8}{109,9} \right]$$

$$K_m = 0,159[L_n(183,67 + 80,22 - 13,33) + 0,501.L_n0,072]$$

$$K_m = 0,159[5,52 + 0,501.(-2,63)]$$

$$K_m = 0,159[5,52 - 1,31]$$

$$K_m = 0,159[4,21]$$

$$K_m = 0,669$$

$$K_m = 0,67$$

Menentukan tegangan *mesh* ( $E_{mesh}$ )

$$E_{mesh} = K_m K_i \rho \frac{I_g}{L}$$

$$E_{mesh} = 0,67 \times 2,02 \times 100 \times \frac{10000}{1012}$$

$$E_{mesh} = \frac{1353400}{1012}$$

$$E_{mesh} = 1337,35 \text{ Volt}$$

Perhitungan dilakukan dengan melakukan pengurangan jarak konduktor paralel D secara bertahap, maksimal perubahan 1 meter, dan hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Tegangan *mesh* sistem *grid* untuk berbagai jarak D,  $E_{mesh} = f(D)$

D (m)	N	L (m)	E mesh (volt)
<b>6</b>	<b>9</b>	<b>750</b>	<b>1468,49</b>
<b>5</b>	<b>11</b>	<b>895</b>	<b>1166,43</b>
<b>4,5</b>	<b>12</b>	<b>987</b>	<b>963,6</b>
<b>4,25</b>	<b>13</b>	<b>1079</b>	<b>895,41</b>
<b>4</b>	<b>13</b>	<b>1132</b>	<b>820,64</b>
<b>3,8</b>	<b>13</b>	<b>1171</b>	<b>767,33</b>
<b>3,7</b>	<b>14</b>	<b>1224</b>	<b>720,58</b>
<b>3,6</b>	<b>14</b>	<b>1316</b>	<b>641,12</b>
3,5	15	1368	581,45
3	16	1422	521,72
2,5	20	1790	318,82
2	25	2211	128,83
1,8	27	2488	64,75

Tabel 4.3 Tegangan *mesh* sistem *grid-rod* untuk berbagai jarak D,  $E_{mesh} = f(D)$ .

D (m)	N	L (m)	E mesh (volt)
<b>6</b>	<b>8</b>	<b>1012</b>	<b>1337,35</b>
<b>5</b>	<b>9</b>	<b>1157</b>	<b>867,78</b>
<b>4,5</b>	<b>12</b>	<b>1341</b>	<b>741,16</b>
<b>4,25</b>	<b>13</b>	<b>1341</b>	<b>720,47</b>
<b>4</b>	<b>13</b>	<b>1394</b>	<b>667,55</b>
<b>3,8</b>	<b>14</b>	<b>1433</b>	<b>626,87</b>
3,7	14	1486	583,53
3,6	14	1486	582,44
3,5	15	1249	534,6
3	17	1578	461,18
2,5	20	2052	272,88
2	25	2473	115,18
1,8	27	2710	59,4



➤ **Sistem Penumbumian *Grid***

- a. Tegangan *mesh* yang memenuhi syarat, mulai pada saat jarak konduktor paralel  $D = 3,5$  meter dengan tegangan *mesh* 581,45 volt dan panjang total konduktor pennumbumian 1368 meter.
- b. Semakin kecil jarak konduktor paralel  $D$  semakin banyak jumlah *mesh* yang terbentuk dan semakin panjang konduktor pennumbumian yang dibutuhkan dan juga semakin kecil tegangan *mesh*.
- c. Dengan semakin panjangnya konduktor pennumbumian tersebut maka tahanan total menjadi semakin kecil sehingga tegangan *mesh* juga menjadi semakin kecil. Hal ini dapat dilihat pada  $D = 6$  meter,  $n = 9$ ,  $L = 750$  meter maka  $E_{\text{mesh}} = 1468,49$  volt sedangkan pada saat jarak  $D = 3,5$  meter  $n = 15$ ,  $L = 1368$  meter maka  $E_{\text{mesh}} = 581,45$  volt (memenuhi syarat).

➤ **Sistem Penumbumian *Grid-Rod***

- a. Tegangan *mesh* yang memenuhi syarat, mulai pada saat jarak konduktor paralel  $D = 3,7$  meter dengan tegangan *mesh* 583,53 volt dan panjang total konduktor pennumbumian 1486 meter dengan elektroda rod sebanyak 65 batang.
- b. Semakin kecil jarak konduktor paralel  $D$  semakin banyak jumlah *mesh* yang terbentuk dan semakin panjang konduktor

pembumian yang dibutuhkan dan juga semakin kecil tegangan *mesh*.

- c. Dengan semakin panjangnya konduktor pembumian tersebut maka tahanan total menjadi semakin kecil sehingga tegangan *mesh* juga menjadi semakin kecil. Hal ini dapat dilihat pada  $D = 6$  meter,  $n = 8$ ,  $L = 1012$  meter maka  $E_{\text{mesh}} = 1337,35$  volt sedangkan pada saat jarak  $D = 3,7$  meter  $n = 14$ ,  $L = 1486$  meter maka  $E_{\text{mesh}} = 583,53$  volt (memenuhi syarat).

#### 4.2.8 Menentukan Tahanan Pembumian

Untuk menghitung tahanan pembumian digunakan persamaan (2.9), terlebih dahulu ditentukan *length of conductor* ( $L_T$ ) menggunakan persamaan (2.10), (2.11) dan (2.12) seperti yang dijelaskan sebelumnya.

Adapun langkah-langkah menentukan tahanan pembumian sistem *grid* yaitu sebagai berikut.

Diketahui :  $A = 2067 \text{ m}^2$ ,  $L_T = 750 \text{ m}$ ,  $\rho = 100 \text{ } \Omega$  dan  $h = 0.8 \text{ m}$

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

$$R_g = 100 \left[ \frac{1}{750} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 2067}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,8\sqrt{20/2067}} \right) \right]$$

$$R_g = 100 \left[ 0,00133 + \frac{1}{\sqrt{41340}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,8\sqrt{0,00967}} \right) \right]$$

$$R_g = 100 \left[ 0,00133 + \frac{1}{203,32} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,8 \cdot 0,098} \right) \right]$$

$$R_g = 100 \left[ 0,00133 + 0,0049 \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,0784} \right) \right]$$

$$R_g = 100 \left[ 0,00133 + 0,0049 \left( 1 + \frac{1}{1,0784} \right) \right]$$

$$R_g = 100[0,00133 + 0,0049(1 + 0,927)]$$

$$R_g = 100[0,00133 + 0,0049(1,927)]$$

$$R_g = 100[0,00133 + 0,00944]$$

$$R_g = 100[0,01077]$$

$$\mathbf{R_g = 1,077}$$

Perhitungan dilakukan dengan melakukan pengurangan jarak konduktor paralel D secara bertahap, maksimal perubahan 1 meter, sehingga membuat perubahan panjang pada konduktornya dan hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Tahanan pembumian untuk berbagai jarak D,  $E_{mesh} = f(D)$  untuk sistem *grid*.

D (m)	A (m <sup>2</sup> )	L <sub>T</sub> (m)	ρ(Ω)	h (m)	R <sub>g</sub> (Ω)
6	2067	750	100	0,8	1,077
5	2067	895	100	0,8	1,055
4,5	2067	987	100	0,8	1,045
4,25	2067	1079	100	0,8	1,036
4	2067	1132	100	0,8	1,032
3,8	2067	1171	100	0,8	1,029
3,7	2067	1224	100	0,8	1,025
3,6	2067	1316	100	0,8	1,019
3,5	2067	1368	100	0,8	1,017
3	2067	1422	100	0,8	1,014
2,5	2067	1790	100	0,8	0,999
2	2067	2211	100	0,8	0,989
1,8	2067	2488	100	0,8	0,984

Tabel 4.4 Tahanan pembumian untuk berbagai jarak D,  $R_g = f(D)$  untuk sistem *grid-rod*.

D (m)	A (m <sup>2</sup> )	L <sub>T</sub> (m)	(Ω)	h (m)	R <sub>g</sub> (Ω)
6	2067	1012	100	0,8	1,042
5	2067	1157	100	0,8	1,03
4,5	2067	1341	100	0,8	1,018
4,25	2067	1341	100	0,8	1,018
4	2067	1394	100	0,8	1,015
3,8	2067	1433	100	0,8	1,013
3,7	2067	1486	100	0,8	1,011
3,6	2067	1486	100	0,8	1,011
3,5	2067	1549	100	0,8	1,008
3	2067	1578	100	0,8	1,007
2,5	2067	2052	100	0,8	0,992
2	2067	2473	100	0,8	0,984
1,8	2067	2710	100	0,8	0,98

➤ **Sistem Pembumian Grid**

- a. Semua tahanan pembumian memenuhi syarat karena semua nilai tahanan pembumiannya mendekati nilai 1 Ω, mulai pada saat jarak konduktor paralel D = 6 meter dengan tahanan pembumian sebesar 1,077 Ω dan panjang total konduktor pembumian 750 meter.
- b. Semakin kecil jarak konduktor paralel D semakin banyak jumlah *mesh* yang terbentuk dan semakin panjang konduktor pembumian yang dibutuhkan dan juga semakin kecil nilai tahanan pembumian.

c. Dengan semakin panjangnya konduktor pembumian tersebut maka nilai tahanan pembumian menjadi semakin kecil. Hal ini dapat dilihat pada  $D = 6$  meter,  $A = 2067$  meter persegi,  $LT = 750$  meter dan  $h = 0,8$  meter, maka  $R_g = 1,077 \Omega$  sedangkan pada saat jarak  $D = 3,5$  meter,  $A = 2067$  meter persegi,  $LT = 1368$  meter dan  $h = 0,8$  meter, maka  $R_g = 1,017 \Omega$  (memenuhi syarat).

➤ **Sistem Pembumian *Grid-Rod***

➤ Semua tahanan pembumian memenuhi syarat karena semua nilai tahanan pembumiannya mendekati nilai  $1 \Omega$ , mulai pada saat jarak konduktor paralel  $D = 6$  meter dengan tahanan pembumian sebesar  $1,042 \Omega$  dan panjang total konduktor pembumian  $1012$  meter.

➤ Semakin kecil jarak konduktor paralel  $D$  semakin banyak jumlah *mesh* yang terbentuk dan semakin panjang konduktor pembumian yang dibutuhkan dan juga semakin kecil nilai tahanan pembumian.

➤ Dengan semakin panjangnya konduktor pembumian tersebut maka nilai tahanan pembumian menjadi semakin kecil. Hal ini dapat dilihat pada  $D = 6$  meter,  $A = 2067$  meter persegi,  $LT = 1012$  meter dan  $h = 0,8$  meter, maka  $R_g = 1,042 \Omega$  sedangkan pada saat jarak  $D = 3,7$  meter,  $A = 2067$  meter persegi,  $LT =$

1486 meter dan  $h = 0,8$  meter, maka  $R_g = 1,011 \Omega$   
(memenuhi syarat).



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah hingga pembahasan yang telah diuraikan, maka kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut.

1. Pada sistem pembumian *grid* dengan jarak konduktor paralel  $D = 3$  meter dan panjang total konduktor pembumian 1422 meter memiliki tegangan *mesh* sebesar 521,72 volt, sedangkan pada sistem pembumian *grid-rod* dengan jarak konduktor paralel  $D = 3$  meter dan panjang total konduktor pembumian 1578 meter dengan elektroda *rod* sebanyak 65 batang memiliki tegangan *mesh* sebesar 461,18 volt.
2. Nilai tahanan pembumian pada sistem pembumian *grid* dengan jarak konduktor paralel  $D = 3$  meter dan panjang total konduktor pembumian 1422 meter adalah 1,014  $\Omega$ , sedangkan nilai tahanan pembumian pada sistem pembumian *grid-rod* dengan jarak konduktor paralel  $D = 3$  meter dan panjang total konduktor pembumian 1578 meter dengan elektroda *rod* sebanyak 65 batang adalah 1,007  $\Omega$ .

### 5.2 Saran

Untuk sistem pembumian gardu induk dengan spesifikasi tanah berupa tanah liat sebaiknya menggunakan sistem pembumian *grid-rod*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Artono Arismunandar, DR.M.A.Sc. 1997. Teknik Tenaga Listrik. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Chow, Y.L., Elsherbiny, M.M., dan Salama, M.M.A. (1997). Surface Voltages and Resistance of Grounding Systems of Grid and Rods in Two-Layer Earth by The Rapid Galerkin's Moment Method.
- Hutauruk, TS. Ir.M.E.E.1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga. Jakarta: Erlangga.
- IEEE Std 80-2000. 2000. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. New York USA:
- IEEE Std 142-2007. 2007. Grounding of Industrial and Commercial Power System. New York USA:
- Nehman, J.M. dan Djordjevic, V.B. (1996). Resistance to Ground of Combined Grid-Multiple Rods Electrodes.
- Politeknik Negeri Ujung Pandang. 2016. *Pedoman Penulisan Tugas Akhir*, Makassar
- PUIL 2000. Badan Standarisasi Nasional.
- Tadjuddin 1998. Analisis Pengaruh Tahanan Jenis Tanah Terhadap Tahanan Pembumian dan Tegangan Permukaan Tanah pada Struktur Tanah Dua Lapis: Makassar





# LAMPIRAN

Lampiran 1 Tegangan sentuh yang diizinkan dan lama gangguan berdasarkan IEEE Standar 80

**Tegangan sentuh yang diizinkan dan lama gangguan berdasarkan IEEE Standar 80**



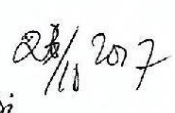
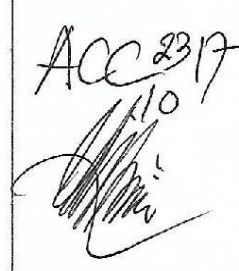
<b>Lama Gangguan (detik)</b>	<b>Tegangan Sentuh yang Diizinkan (Volt)</b>
0,1	1.980
0,2	1.400
0,3	1.140
0,4	990
0,5	890
1,0	626
2,0	443
3,0	362

**LEMBAR REVISI JUDUL PROYEK / TUGAS AKHIR**

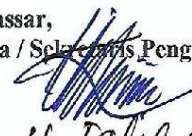
272

NAMA : ADYO ARJATA  
 STAMBUK : A21.B.022

**Catatan Penguji :**

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	Ruslan	<ul style="list-style-type: none"> <li>o) ket pengantar</li> <li>• Tabel simbol</li> <li>• Tanyakan Praktek</li> <li>• hal. 7, 8, 17, 20</li> <li>• Dengan signatur yg heterogen</li> </ul>	
2.	Ahmad Rosyid Idris	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perhitungan konduktor minimum penghantar</li> </ul>	
3.	Hatma Purbito	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metode pengolahan data</li> <li>- Perbaiki kesimpulan (kerang tepat)</li> <li>- lampirkan standarisasi IEEE No. 89</li> </ul>	<p>28/11/2017</p> 
4.	Helik Bini	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tabel berikut diproses</li> </ul>	<p>ACC 23/11/10</p> 

Makassar,  
 Ketua / Sekretaris Penguji Ujian Sidang,

  
Lo. H. Talib Bini, MT

NIP.

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.