

STUDI EVALUASI PENTANAHAN PADA GARDU INDUK DI SEI ROTAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro

OLEH :

**BANGUN SIMANGUNSONG
008120057**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2006**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

RINGKASAN

Perhitungan sistim pembumian gardu induk pada tugas akhir /skripsi ini adalah menggunakan sistim grid atau sistim kisi-kisi. Pembumian gardu induk ini adalah dilakukan untuk memperoleh harga tahanan pembumian yang sekecil mungkin agar dapat mengamankan peralatan maupun manusia yang berada didalam ataupun diluar gardu induk.

Dari hasil pengukuran dilapangan diperoleh harga tahanan jenis rata-rata tanah (ρ) adalah sebesar 25,936 Ohm-meter. Sementara dari hasil perhitungan diperoleh besar tegangan mesh lebih kecil dari tegangan sentuh yang diijinkan dan besar tegangan langkah sebenarnya lebih kecil dari tegangan langkah yang diijinkan serta harga tegangan sentuh dan tegangan langkah tersebut masih berada dibawah standart yang diijinkan. Ini menunjukkan bahwa pemilihan jarak kisi-kisi dan panjang konduktor keseluruhan sudah memenuhi persyaratan dalam merencanakan suatu sistim gardu induk.

Besarnya harga tahanan pembumian (R_0) yang diperoleh dari hasil pengukuran adalah 0,136 Ohm. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sistim pembumian gardu induk Sei Rotan masih berada dalam batas toleransi keamanan baik untuk mengamankan peralatan maupun manusia yang berada di dalam maupun di luar gardu induk tersebut karena tahanan pembumian (R_0) yang dihasilkan masih berada dalam batas yang diijinkan oleh pihak PLN yaitu dibawah 5 Ohm.

ABSTRACT

Counting grid transmission system in this thesis is by using grid system or bar system. This grid transmission is used to get the smallest grid resistance. In order to save tools and human inside or outside of grid transmission.

The result of measuring in field is gotten grid resistance from the average kind of soil is 25,936 ohm meter. While the result of counting is gotten mesh voltage less than steps voltage that permitted and contact voltage and step voltage are less than standard that permitted. This shows that choosing grid distance all length of conductor are fulfilled requirements in planning a grid transmission system.

Grid resistance that is gotten from measurement is 0,136 ohm. From this result, it can be concluded that grid transmission system Sei Rotan is safe for tools and human inside or outside of grid transmission because grid resistance that made is limited by PLN that is 5 ohm.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
RINGKASAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	2
1.3. Metode Penulisan.....	2
1.4. Pembatasan masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II. PEMBUMIAN GARDU INDUK.....	5
2.1. Umum.....	5
2.2. Peralatan-Peralatan Utama Pada Gardu Induk Transmisi.....	8
2.3. Teori Pembumian Gardu Induk.....	10
2.3.1. Pembumian Peralatan Gardu Induk.....	11
2.3.2. Tahanan Jenis Tanah.....	17
2.4. Bahaya-Bahaya Yang Timbul Saat Terjadi Gangguan Tanah.....	23
2.4.1. Tegangan Sentuh.....	24
2.4.2. Tegangan Langkah.....	26
2.4.3. Tegangan Pindah (<i>Transfer Voltage</i>).....	28
2.4.4. Tegangan Mesh.....	31

2.4.5. Tegangan Langkah Maksimum Sebenarnya.....	32
2.5. Arus Yang Melalui Tubuh Manusia.....	33
2.5.1. Arus Persepsi (<i>Perception Current</i>)	33
2.5.2. Arus Lepas (<i>Let-go Current</i>)	34
2.5.3. Arus Fibrilasi (<i>Fibrilating Current</i>).....	36
2.5.4. Arus Reaksi (<i>Reaktion Current</i>).....	36
2.5.5. Tahanan Tubuh Manusia.....	37
2.5.6. Tahanan Pembumian	38
BAB III. SISTIM PEMBUMIAN GARDU INDUK SEI ROTAN	
DAN PENGUKURAN TAHANAN JENIS TANAH	40
1.1. Kondisi Gardu Induk Sei Rotan.....	40
1.1.1. Peralatan-Peralatan Utama Pada Gardu Induk Sei R otan	41
1.2. Penerapan Metode Pembumian Gardu Induk 150 KV	42
1.2.1. Pola Kriteria	42
1.2.2. Pertimbangan Penerapan	43
1.2.3. Penetapan Pembumian	43
1.3. Sistim Pembumian Peralatan pada Gardu Induk Sei Rotan	43
1.4. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah	44
1.4.1. Peralatan Pengukuran.....	44
1.4.2. Prosedur Pengukuran	45
1.4.3. Data Hasil Pengukuran.....	46
1.4.4. Perhitungan hasil Pengukuran	46
BAB IV. PERHITUNGAN SISTIM PEMBUMIAN GARDU INDUK	
SEI ROTAN	48
41. Tata letak Sei Rotan (<i>Lay Out</i>).....	48

4.2. Perhitungan Komponen Pembumian.....	49
BAB V. PENUTUP	49
5.1. Kesimpulan.....	49
5.2. Saran.....	49



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan berkembangnya sistem tenaga listrik yang relatif mulai besar, baik tegangan maupun jaringannya, yang mana bila terjadi pemutusan maka busur listrik yang timbul tidak dapat padam sendiri dan ini akan membahayakan peralatan dan keselamatan manusia yang berada disekitar jaringan.

Salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang mempunyai peranan yang sangat penting adalah gardu induk. Sebelum membangun gardu induk, banyak hal yang harus diperhatikan mengingat bahaya-bahaya yang terjadi pada gardu induk baik pada manusia maupun peralatan yang terdapat pada gardu induk akibat adanya arus gangguan yang mengalir ke tanah. Arus gangguan ini akan mengalir pada bagian-bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah sekitar gardu induk tersebut sehingga mengakibatkan terjadinya gradien tegangan diantara peralatan-peralatan dengan tanah maupun dengan permukaan tanah itu sendiri.

Untuk menghindari bahaya tersebut, maka perlu dibuat suatu sitem pembumian yang memenuhi persyaratan. Salah satu persyaratan untuk menentukan perencanaan sistem pembumian gardu induk adalah besarnya tahanan jenis tanah di sekitar gardu induk. Tulisan ini akan membahas mengenai evaluasi pembumian dari gardu induk Sei Rotan tentang pengukuran besarnya tahanan jenis tanah agar diperoleh model sistem pembumian pada gardu induk tersebut.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

1.2. Tujuan Penulisan

Pada penulisan tugas akhir ini, besar arus hubung singkat tidak dihitung secara manual tetapi berdasarkan data dari PLN. Dengan memperhatikan pengaruh-pengaruh jumlah konduktor paralel pada kisi-kisi utama (n), jarak antara elektroda (D), diameter konduktor (d), kedalaman penanaman konduktor (h), tahanan jenis tanah (ρ), tahanan jenis permukaan tanah (ρ_s), yang telah dilapisi batu koral dan serta waktu lamanya waktu gangguan (t) dan memperhatikan faktor koreksi, maka dapat kita menghitung tegangan-tegangan yang berbahaya yang timbul oleh beda potensial tanah pada saat terjadi gangguan. Dan tujuan tugas akhir ini adalah untuk memperoleh model sistem pembumian pada gardu induk Sei Rotan.

1.2. Metode Penulisan

Metode penulisan yang digunakan dalam tulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur, hal ini dilakukan untuk memperoleh dan memperbanyak teori-teori pendukung dan asumsi-asumsi yang digunakan dalam pembahasan permasalahan yang dihadapi.
2. Observasi lapangan, pengamatan atau observasi langsung dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam pembahasan tugas akhir ini.
3. Diskusi, hal ini dilakukan untuk mendapatkan suatu kesimpulan dari permasalahan yang dihadapi.

1.4. Pembatasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini, dilakukan beberapa pembatasan masalah agar perhitungan serta hasil yang diinginkan dapat diperoleh secara optimal. Adapun pembatasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Pembahasan hanya mencakup perhitungan sistem pembumian gardu induk dengan menggunakan sistem Grid (kisi-kisi)
2. Pembumian yang dibahas adalah pembumian peralatan gardu induk
 - Elektroda pembumian
 - Bus pembumian
 - Penghantar pembumian
3. Lapisan tanah disekitar gardu induk dianggap homogen

1.5. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran umum tentang penulisan tugas akhir ini, maka secara garis besar sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I. Pendahuluan

Berisikan tentang latar belakang permasalahan, tujuan penulisan, metode penulisan batasan masalah, sistematika penulisan.

BAB II. Pembumian Gardu Induk

Berisikan tentang teori umum gardu induk yang meliputi pembumian gardu induk, sistem pengukuran, pembumian peralatan serta bahaya–bahaya yang timbul saat terjadi gangguan tanah.

BAB III. Sistem Penumian Gardu induk Sei Rotan dan Pengukuran Tahanan Jenis Tanah.

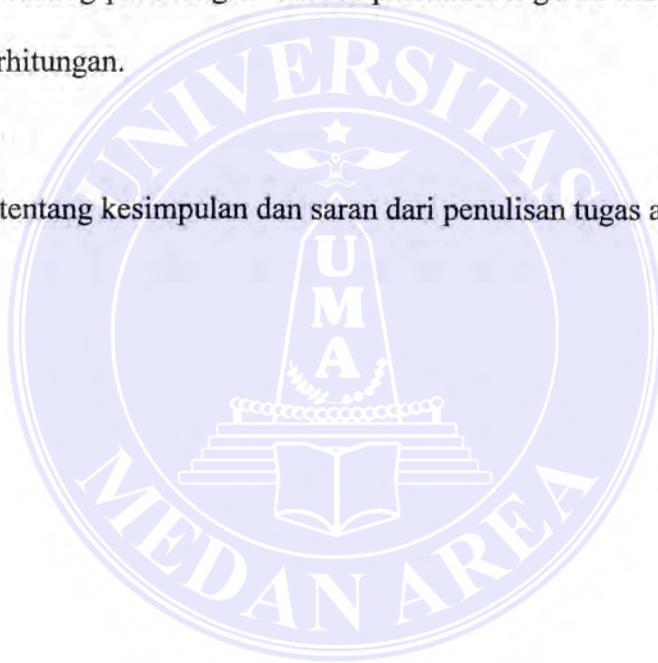
Berisikan tentang tinjauan umum gardu induk sei rotan dan penerapan metode penumian gardu induk 150 KV, sistem penumian peralatan dan teknik pengukuran tahanan jenis tanah.

BAB IV. Perhitungan Sistem Penumian Gardu Induk Sei Rotan

Berisikan tentang perhitungan sistem penumian gardu induk sei rotan dan analisa perhitungan.

BAB V. Penutup

Berisikan tentang kesimpulan dan saran dari penulisan tugas akhir /skripsi ini.



BAB II

PEMBUMIHAN GARDU INDUK

2.1 Umum

Gardu induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari berbagai peralatan listrik tertentu yang merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang mempunyai fungsi tertentu.

Gardu induk mempunyai fungsi :

- Menaikkan dan menurunkan tegangan sistem.
- Pengukuran, pengawasan operasi serta sistem pengaturan dari sistem tenaga listrik.
- Mengatur penyaluran daya ke gardu induk lain melalui jaringan transmisi.

Gardu induk dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

- Menurut penempatan peralatan utamanya.
- Menurut jenis isolasi yang dipakai.

2.1.1. Gardu Induk Pasangan Luar

Gardu induk pasangan luar (*out door substation*) adalah jenis gardu induk yang semua peralatan tegangan tinggi yang digunakan seperti transformator daya, pemutus daya (CB), penangkap petir (LA), *disconnecting swith*, trasformator arus, transformator tegangan dan peralatan lain yang dipasang di luar gedung. Walaupun demikian ada juga peralatan yang dipasang di dalam gedung seperti panel kontrol,

baterai transformator pemakaian sendiri. Gardu induk jenis ini biasanya dibangun di daerah pinggiran kota karena memerlukan tanah yang luas juga untuk mengurangi bahaya bagi masyarakat sekitar.

2.1.2. Gardu Induk Pasangan Dalam

Gardu induk pasangan dalam (*indoor substation*) adalah jenis gardu induk dengan peralatan tegangan tinggi maupun peralatan kontrolnya dipasang di dalam gedung. Gardu induk jenis ini cocok dibangun pada daerah pinggiran pantai sebagai usaha untuk memperkecil pengaruh kontaminasi garam.

2.1.3. Gardu Induk Sebagai Pasangan luar

Gardu induk sebagai pasangan luar (*combine outdoor substation*) adalah jenis gardu induk dengan sebagian peralatan tegangan tingginya dipasang di dalam ruangan, cara ini biasa dilakukan dengan pertimbangan tertentu.

2.1.4. Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah

Gardu induk pasangan bawah tanah (*underground substation*) adalah jenis gardu induk dengan peralatan tegangan tinggi dipasang di dalam bangunan yang ada di bawah tanah seperti transformator daya penangkal petir (LA) dan peralatan pendingin. Gardu induk jenis ini dibangun di pusat kota di mana sudah sulit untuk mendapat tanah yang luas untuk membangun gardu induk.

2.1.5. Gardu Induk Pasangan Sebagian Pasangan Bawah Tanah

Gardu induk pasangan sebagian pasangan bawah tanah (*semi underground substation*) adalah gardu induk dengan peralatan tegangan tingginya dipasang di bawah tanah adalah transformator daya sedangkan peralatan lainnya dipasang di atas tanah. Gardu induk ini mempunyai dua ruang kontrol yaitu *underground control room* di atas tanah.

2.1.6. Gardu Induk Bergerak

Gardu induk bergerak (*mobile substation*) adalah gardu induk yang ditempatkan di atas kereta gandeng (*trailer*) atau di atas truk. Gardu induk jenis ini digunakan apabila ada keadaan darurat atau terjadi beban lebih di suatu daerah tertentu.

Menurut isolasi yang dipakai, gardu induk Sei Rotan dibagi atas :

A. Gardu Induk Isolasi Udara

Gardu induk isolasi udara adalah gardu induk yang menggunakan udara untuk mengisolasi bagian-bagian yang bertegangan baik antara fasa maupun fasa dengan tanah.

B. Gardu Induk Isolasi Gas

Gardu induk isolasi gas adalah gardu induk yang menggunakan gas untuk mengisolasi bagian-bagian yang bertegangan baik antara fasa maupun antar fasa dengan tanah.

2.2 Peralatan - Peralatan Utama Pada Gardu Induk Transmisi

Peralatan - peralatan utama yang terdapat pada gardu induk transmisi antara lain:

1. Transformator daya (*power transformer*)

Transformator daya yang digunakan untuk menyalurkan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya.

2. Rel Daya (*Bus Bar*)

Rel daya merupakan konduktor yang berkapasitas arus besar yang berfungsi sebagai terminal penampungan arus yang masuk dan keluar dari gardu induk.

3. Penangkal Petir (*Lightning arrester*)

Penangkal petir digunakan untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan yang disebabkan oleh surja petir dan surja hubung. Dalam keadaan normal penangkal petir berperilaku sebagai isolator, tetapi bila timbul tegangan surja akan bersifat sebagai bypass di sekitar isolasi yang mudah dilalui arus menuju sistem pembumian sehingga tidak menimbulkan tegangan yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan.

4. Pemutus Daya (*Circuit Breaker*)

Pemutus Daya adalah saklar yang berfungsi memutuskan atau menghubungkan arus atau daya listrik sesuai dengan ratingnya baik dalam keadaan mengalami gangguan maupun berbeban.

5. Pemisah (*Disconnecting Switch*)

Pemisah digunakan untuk menyatakan secara visual bahwa suatu peralatan listrik sudah bebas dari tegangan kerja dan tidak diperbolehkan untuk dimasukkan atau dikeluarkan pada rangkaian listrik dalam keadaan berbeban. Pemisah baru boleh

dibuka setelah CB pada rangkaian terbuka dan pemisah harus ditutup terlebih dahulu sebelum pemisah dihubungkan.

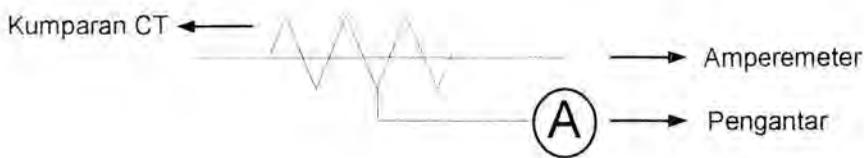
1. Pemisah tanah digunakan untuk mengamankan peralatan dari sisa tegangan yang timbul sesudah saluran udara tegangan tinggi (SUTT) diputuskan dari pengaruh induksi tegangan dari penghantar untuk keamanan pekerja sekitar.
2. Pemisah peralatan digunakan untuk memisahkan peralatan listrik yang satu dengan peralatan listrik yang lain atau instalasi yang bertegangan dan hanya boleh dioperasikan dalam keadaan tanpa beban.

6. Transformator Pengukuran

Transformator pengukuran ini dibagi atas dua bagian oleh sebab itu digunakan transformator khusus yang disebut dengan :

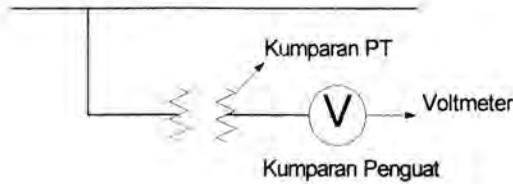
1. Transformator Arus

Transformator arus berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah. Tegangan keluarannya 120 Volt



Gambar 2.1 Transformator Tegangan.

2. Transformator tegangan berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah. Tegangan keluarannya adalah 120



Gambar 2.2 Transformator Tegangan.

2.3 Teori Pembumian Gardu induk

Pembumian pada gardu induk berfungsi untuk membatasi tegangan yang timbul di antara peralatan - peralatan, peralatan dengan tanah dan meratakan gradien tegangan yang timbul dalam permukaan tanah akibat arus kesalahan yang mengalir di dalam tanah. Batas-batas tegangan yang diijinkan adalah tagangan yang cukup aman bagi orang yang berada di dalam dan di luar gardu induk tersebut. Untuk menentukan suatu perencanaan sistem pembumian gardu induk harus diperhatikan beberapa faktor antara lain :

- Besarnya arus kesalahan yang mungkin terjadi
- Luasnya tanah yang dapat digunakan untuk pembumian
- Tahanan jenis tanah di sekitar gardu induk tersebut
- Bentuk, ukuran dan jenis konduktor yang dipakai sebagai elektroda pembumian .

Pembumian gardu induk mula - mula dilakukan dengan menanamkan batang - batang konduktor tegak lurus permukaan tanah (*horizontal*) dengan kedalaman beberapa puluh centimeter di bawah permukaan tanah. Hal ini dilakukan mula - mula

karena pada suatu daerah yang berbatu tidak dapat menanamkan elektroda pembumian lebih dalam.

Tujuan utama dari berbagai sistem pembumian tersebut adalah untuk mendapatkan tahanan kontak ke tanah yang kecil. Untuk mengetahui sejauh mana hambatan kontak ke tanah dapat diperkecil, perlu mengetahui rumus - rumus tahanan kontak ke tanah dari masing - masing sistem pembumian.

2.3.1 Pembumian Peralatan Gardu Induk

Pembumian peralatan berlainan dengan pembumian sistem. Pada pembumian peralatan ini, yang diketanahkan adalah bagian dari peralatan yang mana pada keadaan kerja normal tidak dilalui oleh arus. Adapun tujuan dari pembumian peralatan ini adalah :

1. Untuk membatasi tegangan antara bagian - bagian peralatan yang tidak dilalui oleh arus dan antar bagian - bagian peralatan tersebut dengan tanah, sampai dicapai suatu harga tegangan yang tidak membahayakan baik pada kondisi kerja normal maupun pada saat terjadi gangguan. Untuk mencapai tujuan ini , maka suatu sistem pembumian peralatan sangat diperlukan. Sistem pembumian tersebut berguna untuk memperoleh potensial yang merata dalam semua bagian struktur dan peralatan. Selain itu juga untuk menjaga agar operator maupun orang yang berada di daerah instalasi tersebut berada pada potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu. Jika hal tersebut dicapai maka kemungkinan timbulnya perbedaan potensial yang besar pada

jarak yang dapat dicapai oleh manusia sewaktu terjadi gangguan hubung singkat kawat ke tanah menjadi sangat kecil.

2. Untuk memperoleh impedansi yang rendah dari arus bolak - balik hubung singkat ke tanah. Kecelakaan pada manusia terjadi pada saat hubung singkat. Jadi bila arus hubung singkat ke tanah itu dipaksakan mengalir melalui impedansi tanah yang tinggi, maka hal ini akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya.

Berdasarkan perjabaran di atas, maka secara singkat tujuan pembumian peralatan dapat diformulasikan sebagai berikut :

1. Mencegah timbulnya tegangan listrik yang berbahaya bagi manusia yang berada pada instalasi tersebut
2. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besar maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan
3. Untuk memperbaiki petunjuk kerja dari sistem.

Komponen - komponen sistem pembumian terdiri dari :

- Elektroda pembumian
- Bus pembumian
- Penghantar pembumian

2.3.1.1. Elektroda Pembumian

Elektroda pembumian (*grounding electrode*) merupakan penghantar yang ditanam di dalam tanah yang berfungsi menjaga agar potensial semua penghantar

yang dihubungkan dengan tanah merata dan seragam dan juga merupakan alat pelepasan arus kesalahan ke tanah.

Adapun yang biasa digunakan sebagai elektroda pembumian adalah :

1. Elektroda Alamiah

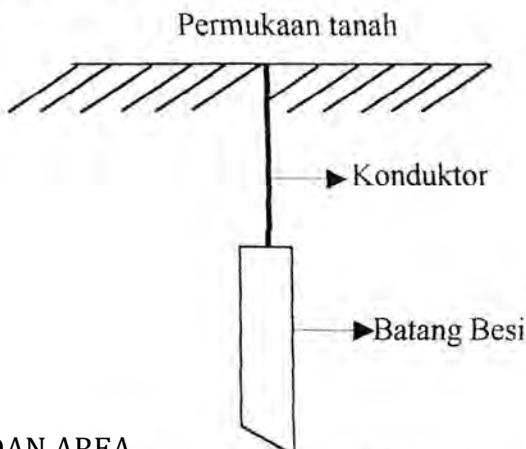
Elektroda alamiah adalah penghantar listrik yang ada di dalam tanah yang merupakan bagian dari bangunan, misalnya pipa air, kerangka logam, dan lain - lain. Dengan memanfaatkan benda - benda tersebut sebagai elektroda pembumian merupakan cara yang ekonomis, hanya saja pemakaian terbatas untuk sistem pembumian yang kecil.

2. Elektroda Buatan

Sistem pembumian dengan elektroda buatan adalah yang khusus dibuat untuk keperluan pembumian. Beberapa bentuk konstruksi elektroda buatan adalah :

- Elektroda batang / elektroda jarum

Elektroda batang merupakan batang benam yang ditanamkan tegak lurus ke dalam tanah. Penanaman elektroda batang dapat mengalir ke dalam tanah dengan sempurna.



Gambar 2.3. Elektroda batang

- Sistem Grid (kisi-kisi)

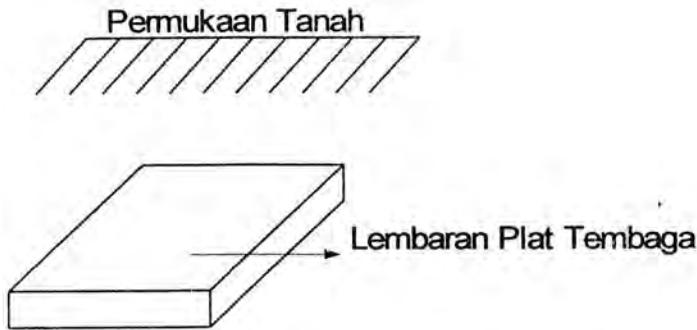
Sistem ini terdiri dari penghantar yang dibenamkan dengan kedalaman 0,3 meter membentuk suatu jaringan yang bersilang sehingga membentuk kotak-kotak persegi. Pembumian sistem ini sangat baik untuk memperoleh potensial permukaan tanah yang seragam karena konstruksinya yang merata terbenam keseluruhan area yang akan dilindungi, sehingga sistem ini cocok digunakan untuk sistem pembumian untuk gardu induk.



Gambar 2.4. Sistem Grid

- Pelat benam

Merupakan sistem pembumian dengan menggunakan pelat logam seluas 1 M^2 yang ditanam didalam tanah dengan posisi tegak atau mendatar dengan kedalaman 1,5 - 3 meter. Konstruksi ini jarang digunakan karena biayanya relatif mahal.



Gambar 2.5. Sistem pelat benam

2.3.1.2. Bus Pembumian

Yang dimaksud dengan bus pembumian (*Grounding bus*) adalah penghantar didalam tanah yang berfungsi untuk membuat potensial yang seragam dan merata disekitar jaringan. Bus pembumian ditanam disekeliling area bangunan yang dilindungi dan dihubungkan dengan elektroda pembumian.

Penampang bus pembumian ditentukan oleh besarnya dan waktu arus kesalahan mengalir yaitu dibatasi oleh suhu maksimum yang diperbolehkan :

- Untuk sambungan dengan baut, suhu maksimum yang diijinkan adalah 250°C maka $A = 10,6 \cdot I \sqrt{t}$
- Untuk sambungan las, suhu maksimum yang diijinkan adalah 450°C maka $A = 8,7 \sqrt{I t}$

Dimana : A = luas penampang tembaga (meter^2)

I = Arus gangguan tanah (Ampere)

t = Lama gangguan

2.3.1.3. Penghantar Pembumian

Berfungsi untuk menghubungkan bagian-bagian peralatan sistem yang akan ditanahkan ke bus pembumian atau elektroda tanah. Terbuat dari logam yang baik daya hantarnya, seperti tembaga, baja dan aluminium.

Dalam penggunaan penghantar atau kawat sebagai penghantar pen\mbumian (*Grounding konduktor*) harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Bila digunakan kawat berisolasi, penampang kawat pembumian yang digunakan sama besarnya dengan penampang kawat fasa yang bersangkutan.
- Bila digunakan kawat telanjang, kenaikan suhu maksimum dan pada tempat tertentu suhu maksimumnya adalah 100°C .
- Kawat pembumian perlengkapan harus dibuat tersendiri, jaringan digabung dengan kawat pembumian titik netral.

Harga-harga tahanan pembumian perlengkapan adalah sebagai berikut :

- Untuk tempat pentanahan yang paling besar pada tahanan bus pembumian ≤ 1 ohm
- Untuk tempat pentanahan yang paling kecil tahanan bus pembumian ≤ 5 ohm
- Untuk perumahan dan kota yang belum mempunyai sistem air leding tahanan pembumian ≤ 25 ohm
- Untuk alat-alat elektronis yang sangat peka tahanan pembumian $\leq 0,5$ ohm

Syarat utama untuk elektroda tanah adalah bahan yang anti karat seperti tembaga dan disamping itu juga harus kokoh secara mekanis terhadap tanah. Selain itu dapat pula digunakan alumunium, hanya saja pada lapisan tertentu alumunium dapat berkarat.

Ada dua cara penyambungan yang umum digunakan yaitu :

1. Sambungan dengan klem baut

Penyambungan dengan klem baut digunakan karena pemasangannya sederhana dan mudah untuk melakukan pemisahan pada saat pengukuran tahanan tanah. Pada penyambungan dengan baut suhu maksimum yang diijinkan adalah 250 °C.

2. Penyambungan secara thermis dengan las

Cara ini dilakukan karena hemat waktu dan biaya, sambungan bebas dari bahaya karat bila sebelum pengelasan telah dibersihkan dahulu. Suhu maksimum yang diijinkan adalah 450 °C..

2.3.2. Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah suatu daerah berbagai tempat tidaklah sama, tergantung dari beberapa faktor yaitu :

- Jenis tanah : tanah liat, berpasir, berbatu dan lain-lain
- Lapisan tanah : berlapis dengan tahanan jenis berlainan
- Temperatur

Kesulitan yang biasanya dijumpai adalah bahwa dalam kenyataannya komposisi tanah tidaklah sama, sehingga pada suatu lapisan tanah mungkin terdapat dua atau lebih jenis tanah dengan tahanan jenis yang berlainan. Sering dicoba untuk mengubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pbumian dengan maksud mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara saja, sebab proses penganggaran harus dilakukan secara periodik sedikitnya enam bulan sekali.

Dengan memberikan air atau membasahnya tanah yang akan diukur juga dapat mengubah tahanan jenis tanah. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah rata-rata untuk keperluan perencanaan maka diperlukan penelitian atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu misalnya dalam jangka waktu satu tahun. Biasanya tahanan jenis tanah juga tergantung dari tingginya permukaan tanah dari air yang konstan.

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pbumian dapat dilakukan dengan menanamkan elektroda pbumian sampai mencapai tempat dimana terdapat air tanah yang konstan.

Pada setiap pbumian yang tidak mungkin atau tidak perlu untuk ditanam lebih dalam, variasi harga tahanan jenis tanah sangat besar karena kelembapan dan temperatur bervariasi, maka harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk yaitu tanah kering dan dingin. Biasanya harga tahanan jenis tanah yang diambil adalah harga tahanan jenis tanah yang tinggi, maka berdasarkan harga tahanan jenis tanah ini dibuatlah suatu perencanaan pbumian. Jadi pada suatu sistem perencanaan, pengukuran tahanan jenis tanah harus dilakukan terlebih dahulu

pada tempat dimana akan didirikan gardu induk.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (Repository.uma.ac.id)6/9/23

Besarnya tahanan jenis tanah sangat berbeda-beda, tergantung jenis tanah seperti terlihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah

No	Jenis tanah	Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)
1	Tanah rawa	30
2	Tanah liat	100
3	Tanah lading	100
4	Pasir basah	200
5	Kerikil basah	500
6	Pasir kering	1000
7	Kerikil kering	1000
8	Tanah berbatu	3000

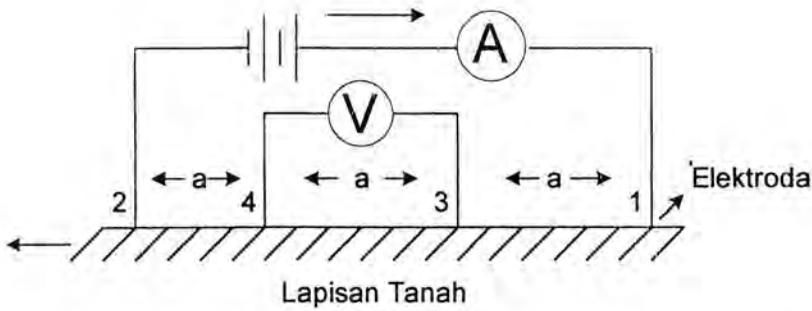
2.3.2.1. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah dapat dilakukan dengan dua cara :

1. Metode empat elektroda (*four electrode methode*)
2. Metode tigas titik (*three poin metode*)

2.3.2.1.1. Metode Empat Elektrode

Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode empat titik menggunakan empat batang elektrode, sebuah batere, sebuah amperemeter dan sebuah voltmeter yang sensitif, seperti ditunjuk pada gambar 2.6



Gambar 2.6. Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode empat elektrode

Bila arus I masuk ketanah melalui salah satu elektroda dan kembali ke elektroda yang lain yang cukup jauh sehingga pengaruh diameter konduktor dapat diabaikan. Arus yang masuk kedalam tanah mengalir secara radial dari elektroda, misalkan arah arus dalam tanah dari elektroda 1 ke elektroda 2 berbentuk permukaan bola dengan jari-jari r , luas permukaan tersebut adalah $2\pi r^2$ an rapat arus radial pada jarak r adalah :

$$J = \frac{I}{2\pi \cdot r^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

J = kerapatan arus (A/m^2)

r = jari-jari (m)

I = arus yang mengalir dalam tanah (A)

Jika ρ adalah tahanan jenis tanah, maka kuat medan dalam tanah pada arah radial dengan jarak r adalah :

$$E (r) = j \rho (V/m) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana ρ = tahanan jenis tanah (Ω - m)

$$E(r) = \frac{I\rho}{2\pi r^2} \text{ (V/m)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Potensial pada jarak r dari elektroda adalah integral dari gaya listrik dari jarak r ke titik takterhingga adalah:

$$V = \int_r^\infty E_{(r)} dr \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana V = Beda potensial (volt)

$$V_3 = \int_{r_3}^{r_{34}=2a} \frac{I\rho}{2\pi r^2} dr = \rho \frac{1}{2\pi} \left(= \frac{1}{r} \right) \Big|_a^{2a}$$

$$V_3 = \rho \frac{1}{2\pi} \left[-\frac{I}{2a} + \frac{I}{a} \right] = \rho \frac{1}{2\pi} \left[-\frac{I}{a} - \frac{I}{2a} \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

$$V_4 = \int_{r_{34}=2a}^{r_{24}=a} \frac{I\rho}{2\pi r^2} dr = \rho \frac{I}{2\pi} \left[-\frac{1}{r} \right] \Big|_a^{2a}$$

$$= \rho \frac{1}{2\pi} \left[-\frac{I}{2a} + \frac{I}{a} \right] = \rho \frac{1}{2\pi} \left[-\frac{I}{2a} - \frac{I}{a} \right] \dots\dots\dots (2.6)$$

$$V_{34} = V_3 - V_4$$

$$= \rho \frac{1}{2\pi} \left[-\frac{I}{a} + \frac{I}{2a} \right] - \rho \frac{1}{2\pi} \left[-\frac{I}{2a} + \frac{I}{a} \right]$$

$$= \rho \frac{1}{2\pi} \left[-\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right]$$

$$= \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{2}{a} - \frac{2}{2a} \right) = \rho \frac{I}{2\pi a}$$

$$V_{34} = I \frac{\rho}{2\pi a} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$R_{34} = \frac{V_{34}}{I} \dots\dots\dots (2.8a)$$

$$V_{34} = \frac{\rho}{2\pi a} \dots\dots\dots (2.8b)$$

$$\text{Jadi } \rho = R_{34} (2\pi a) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

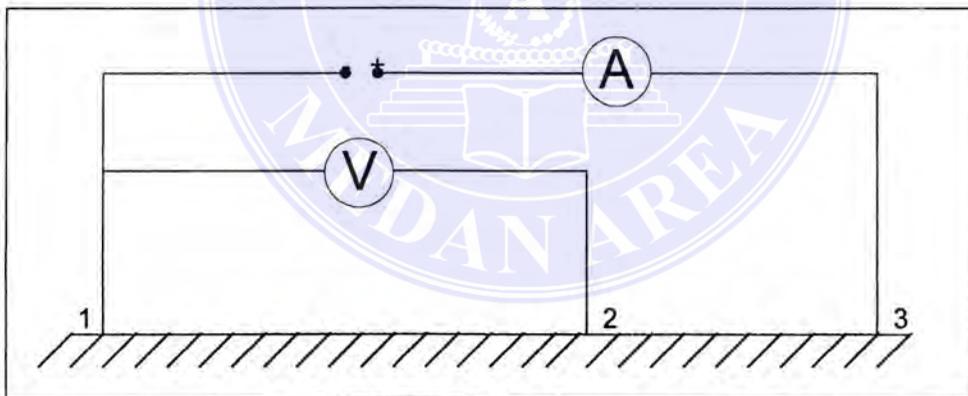
a = Jarak antara elektroda (meter)

R_{34} = Tahanan antara elektroda 3 dan 4 (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω - m)

$\pi = 3,14$

2.3.2.1.2. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Dengan Metoda Tiga Titik



Gambar 2.7 Pengukuran tahanan jenis tanah dengan metode tiga titik

Bila tahanan di antara tiap-tiap batang pembumian diukur dengan arus konstan, tiap pengukuran dapat ditulis sebagai brikut.

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

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

$$R_{23} = \frac{V_{2-3}}{I} = R_{22} + R_{33} - 2R_{13}$$

$$\frac{V_{1-2} + V_{1-3} + V_{2-3}}{I} = R_{11} - 2R_{12} - 2R_{13} + 2R_{23} \dots\dots\dots (2.10)$$

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

$$\frac{V_{1-2}}{I} = R_{11} - R_{12} - R_{13} + R_{23} \dots\dots\dots (2.11)$$

Sehingga

$$R_{11} = R + R_{12} + R_{13} - R_{23} \dots\dots\dots (2.12)$$

2.4. Bahaya-Bahaya Yang Timbul Saat Terjadi Gangguan Tanah

Secara umum kita tinjau lebih dahulu bahaya-bahaya yang mungkin dapat ditimbul oleh tegangan/ arus listrik terhadap manusia mulai yang paling ringan sampai yang paling berat yaitu : terkejut, pingsan atau mati yang meliputi :

- Tegangan dan kondisi orang dan terhadap tegangan tersebut
- Besarnya arus yang melewati tubuh manusia
- Jenis arus, searah atau bolak-balik

Pada sitem tegangan tinggi sering terjadi kecelakaan terhadap manusia, dalam hal terjadi kontak langsung atau dalam hal manusia berada didalam suatu bdaerah yang mempunyai gradien tegangan yang tinggi. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, yang menyebabkan bahaya-bahaya tersebut adalah besarnya arus yang mengalir dalam tubuh manusia.

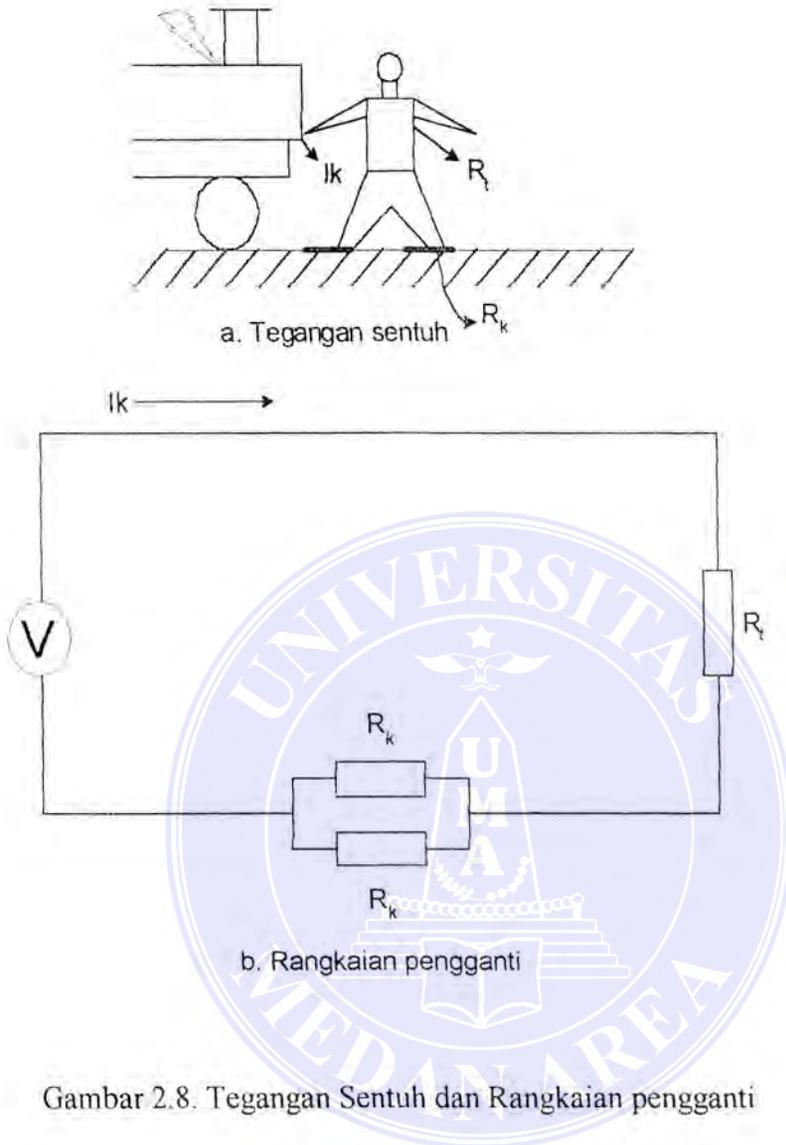
Khusus pada gardu-gardu induk kemungkinan terjadinya bahaya terutama disebabkan oleh timbulnya gangguan yang menyebabkan arus mengalir ketanah. Aarus gangguan ini akan mengalir pada bagian - bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah disekitar gardu induk. Arus gangguan tersebut menyebabkan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan juga gradien tegangan dipermukaan tanah itu sendiri.

Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa tegangan barulah berbahaya apabila akibat sentuhan dengan tegangan yang menyebabkan mengalirnya arus listrik yang cukup besar didalam tubuh. Bila mana tegangan tersebut tidak meyebabkan arus yang mengalir, maka tegangan tersebut tidak berbahaya. Ada tiga jenis tegangan yang dapat menyebabkan terjadinya arus gangguan, yaitu :

1. Tegangan sentuh (*touch voltage*)
2. Tegangan langkah (*step voltage*)
3. Tegangan pindah (*transfer voltage*)

2.4.1. Tegangan Sentuh

Teganga sentuh adalah tegangan yang terdapat diantara suatu obyek yang disentuh dalam suatu titik berjarak 1 (satu) meter, dengan sasumsi bahwa obyek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pentanahan yang berada dibawahnya, dimana besar arus gangguan dibatasi oleh tahanan orang dan tahanan kontak ketanah dari kaki orang tersebut . hal ini dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8. Tegangan Sentuh dan Rangkaian pengganti

Dari gambar 2.8 diatas dapat diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$E_s = \left[R_t + \frac{R_k}{2} \right] I_k$$

Dimana :

E_s = Tegangan sentuh (volt)

R_t = Tahanan tubuh manusia (1000 Ohm)

R_k = Tahanan Kontak ke Tanah ($R_k = 3 \mu s$)

I_k = Besarnya arus yang melalui badan manusia (Ampere)

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

t = Waktu kejut atau lama gangguan tanah (detik)

ρ_s = Merupakan tahanan jenis permukaan tanah yang dilapisi koral (3000 Ohm)

dengan demikian besarnya tegangan sentuh menjadi :

$$E_s = \left[R_1 + \frac{3\rho_s}{2} \right] I \dots\dots\dots (2.14)$$

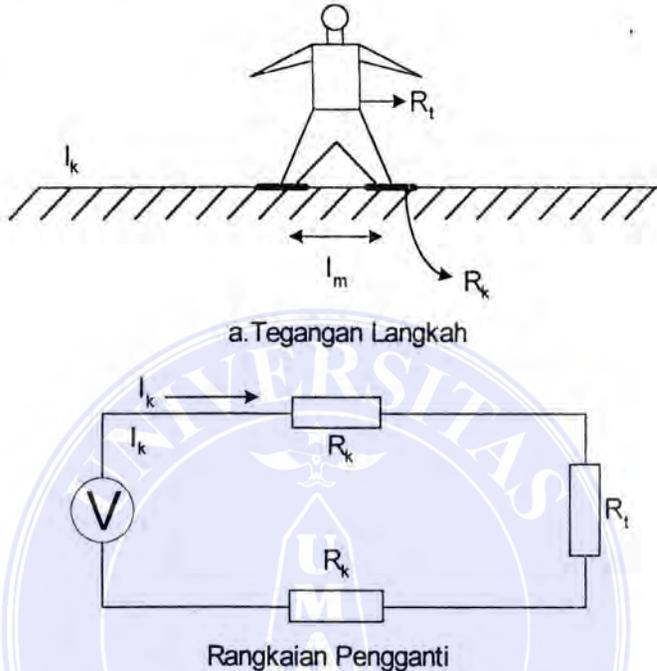
Tabel 2.2 Besar Tegangan Sentuh yang diizinkan.

Lama gangguan t (detik)	Tegangan Sentuh yang diizinkan (volt)
0,1	1.890
0,2	1.400
0,3	1.140
0,4	990
0,5	890
1,0	626
2,0	443
3,0	362

2.4.2. Tegangan langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul pada manusia pada saat sedang berdiri diatas tanah yang sedang dialiri oleh arus. Panjang langkah diasumsikan 1 meter sedang besar kecilnya tegangan berbanding langsung dengan

panjang langkah dengan antara dua kaki. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.9a dan 2.9b berikut ini.



Gambar 2.9. Tegangan langkah dan Tegangan pengganti.

Dari gambar tersebut diatas diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$E_1 = (R_t + 2R_k) I_k \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana : E_1 = Tegangan langkah (Volt)

R_t = Tahanan badan manusia (1000 ohm)

R_k = Tahanan kontak ketanah dari suatu kaki (ohm)

I_k = Arus gangguan tanah (Ampere)

$R_k = 3 \rho_s$ dimana ρ_s merupakan tahanan jenis permukaan tanah yang dilapis koral (3000 ohm) dengan demikian besarnya tegangan langkah menjadi :

$$E_l = (R_t + 6 \rho_s) I_k \dots\dots\dots (2.16)$$

Besarnya tegangan langkah yangt diizinkan dapat dilihat pada tabel 2.3.

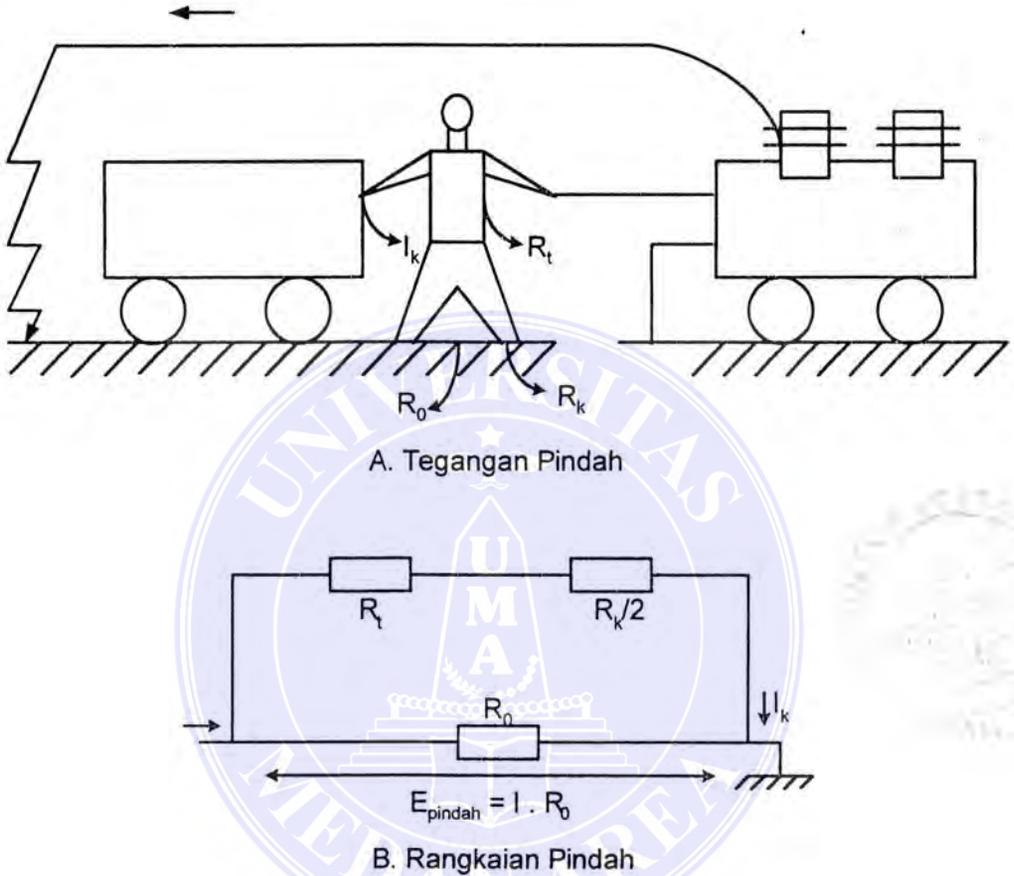
Tabel 2.3 Tegangan langkah yang diizinkan

Lama Gangguan(detik)	Tegangan sentuh yang diizinkan(volt)
0,1	7.000
0,2	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

2.4.3. Tegangan Pindah (*Transfer Voltage*)

Tegangan pindah adalah hal khusus dari tegangan sentuh, dimana tegangan ini terjadi bila saat terjsadi kesalahan orang berdiri didalam gardu induk dan menyentuh

peralatan yang diketanahkan pada titik jauh, sedangkan alat tersebut dialiri oleh arus kesalahan ke tanah, seperti pada gambar 2.10



Gambar 2.10. Tegangan pindah dan rangkaian pengganti

Dari gambar 2.10a dan 2.10b diperoleh :

$$E_{pindah} = I \cdot R_0 \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan anggapan $I_k \ll I$ sebab :

$$\frac{R_k}{2} + R_1 \gg R_0$$

Dimana :

$$R_0 = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$r = \left[\frac{A}{\pi} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2.19)$$

I = arus gangguan (ampere)

I_k = arus yang lewat badan (ampere)

R = jari-jari ekuivalen dari sebuah gardu induk (meter)

L = panjang total dari konduktor (meter)

A = luas areal pembumian (m^2)

R_0 = tahanan pembumian (ohm)

ρ = tahanan jenis rata-rata tanah (ohm-meter)

Untuk waktu tertentu dari arus gangguan, dalam detik, tegangan pindah yang diijinkan adalah sama dengan tegangan sentuh.

Dengan memperhatikan kondisi di atas maka terlihat bahwa arus gangguan total I terbagi menjadi dua, dimana arus I_k akan melewati badan tersisanya sebesar $I - I_k$ akan langsung menuju ketanah. Karena besarnya arus I adalah dalam orde ratusan sampai ribuan ampere, sedangkan arus I_k hanya dalam orde milli ampere, maka arus I_k dapat diabaikan terhadap arus I . Dengan demikian maka dapat dianggap bahwa tegangan antara peralatan dengan tanah sebelum dan sesudah dipegang dapat dikatakan sama.

2.4.4. Tegangan Mesh

Tegangan mesh merupakan salah satu bentuk tegangan sentuh. Tegangan mesh di defenisikan sebagai tegangan peralatan yang diketanahkan terhadap tegangan-tegangan daerah yang dibentuk kisi-kisi (center of mesh) selama gangguan tanah. Tegangan mesh ini menyatakan tegangan tertinggi yang mungkin timbul sebagai tegangan sentuh yang dapat dijumpai dalam sistem pembumian gardu induk, dan inilah yang diambil sebagai tegangan untuk disain yang aman.

Tegangan mesh ini secara pendekatan sama dengan $\rho \cdot I$. Dimana ρ merupakan tahanan jenis tanah dalam ohm-meter dan I adalah arus yang melalui konduktor kisi-kisi. Oleh karena itu untuk mencakup pengaruh-pengaruh jumlah konduktor paralel n , jarak-jarak konduktor paralel (D), diameter konduktor (d), dan kedalaman penanaman (h), maka tegangan mesh dapat dihitung dalam dengan persamaan:

$$E_{ms} = K_m K_i \rho \frac{I}{L} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \left[\frac{3}{4}x - \frac{5}{6}x^2 + \frac{7}{8}x^3 - \frac{9}{10}x^4 \dots x \frac{2(n-2)+1}{2(n-2)+2} \right] \dots (2.21)$$

K_i = faktor koreksi untuk ketidakmerataan kerapatan arus yang dihitung dengan rumus empiris = $0,65 + 0,172 n$.

D = Jarak antara konduktor-konduktor paralel pada kisi-kisi (m)

h = Kedalaman penanaman konduktor (m)

d = Diameter konduktor kisi-kisi (m)

n = Jumlah konduktor paralel dalam kisi-kisi utama, tidak termasuk sambungan melintang

ρ = Tahanan jenis rata-rata tanah (ohm-meter)

I = Besar arus gangguan tanah (ampere)

L = Panjang konduktor pentanahan yang ditanam termasuk semua batang pentanahan (m).

2.4.5. Tegangan Langkah Maksimum Sebenarnya

Tegangan langkah sebenarnya adalah perbedaan tegangan yang terdapat diantara kedua kaki bila manusia berjalan diatas tanah sistem pentanahan pada keadaan terjadi gangguan. Tegangan langkah maksimum sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan:

$$E_{ls} = K_s K_i \rho \frac{I_m}{L} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots + \frac{1}{(n-1)D} \right] \dots\dots\dots(2.23)$$

ρ = Tahanan jenis rata-rata tanah (ohm-meter)

h = Kedalaman penanaman konduktor pentanahan (m)

D = Jarak antara konduktor-konduktor paralel (m)

$K_i = 0,65 + 0,172 n$

I_m = Arus gangguan tanah maksimum (A)

L = Panjang total konduktor yang ditanam, termasuk batang pentanahan (m)

2.5. Arus Yang Melalui Tubuh Manusia.

Kemampuan tubuh manusia terhadap besarnya arus yang mengalir sangatlah terbatas. Tetapi berapa besar dan berapa lamanya arus yang masih dapat ditahan oleh tubuh manusia sampai batas yang belum membahayakan masih sukar ditetapkan secara pasti.

Sudah banyak penelitian yang dilakukan dengan menerapkan berbagai metode percobaan baik secara langsung dengan tubuh manusia maupun dengan binatang tertentu. Dalam batas-batas tertentu dimana pengaruh arus belum berbahaya terhadap organ tubuh manusia yang berbeda sehat.

Tahapan batas arus yang berpengaruh terhadap tubuh manusia dapat dikategorikan dalam empat tahap, yaitu:

- Arus persepsi (*Perception Current*), dimana pengaruh arus mulai terasa.
- Arus lepas (*Let-go Current*), yaitu arus yang mempengaruhi otot pada tubuh manusia.
- Arus fibrilasi (*Fibrillating Current*), yaitu arus yang dapat menyebabkan seseorang pingsan atau bahkan meninggal.
- Arus reaksi (*Reaction Current*), yaitu arus yang dapat mengakibatkan orang menjadi terkejut.

2.5.1. Arus Persepsi (*Perception Current*).

Jika tangan memegang penghantar yang bertegangan yang dinaikan sedikit demi sedikit mulai dari nol maka pada suatu harga tertentu arus listrik yang mengalir

melalui orang tersebut akan memberikan pengaruh. Bilamana arus yang mengalir adalah arus bolak-balik, maka gangguan yang terasa tidak akan berbahaya. Maka jika arus yang mengalir adalah arus searah, maka akan terasa sedikit panas pada bagian tubuh yang bersentuhan langsung dengan penghantar.

Pada Electrical Testing Laboratory New York tahun 1933 telah dilakukan pengujian terhadap 40 orang laki-laki dan perempuan, dan didapat arus rata-rata yang disebut *threshold of perception current* sebagai berikut:

- Untuk laki-laki : 1,1 mA
- Untuk perempuan : 0,7 mA

2.5.2. Arus Lepas (*Let-go Current*)

Apabila tegangan yang menyebabkan terjadinya arus persepsi dinaikan lagi, maka rangsangan pada tubuh akan berubah menjadi rasa sakit dan telapak tangan yang memegang penghantar akan terasa hangat. Apabila terus diperbesar, maka pada suatu nilai arus tertentu otot-otot akan kaku dan penghantar yang dipegang akan sukar untuk dilepaskan. Untuk pria dan wanita, arus persepsi ini tidaklah sama. Percobaan yang dilakukan di University Of California Medical School diperoleh harga arus yang mempengaruhi otot sebagai berikut:

- Untuk laki-laki : 16 mA
- Untuk perempuan : 1,5 mA

Berdasarkan penyelidikan ini telah ditetapkan batas arus maksimal dimana orang masih dapat dengan segera melepaskan penghantar apabila terkena arus listrik. Besar arus maksimal tersebut adalah:

- Lamanya terkena sentuhan.
- Besarnya arus mengalir
- Jenis arus (searah atau bolak-balik)

Untuk menyelidiki keadaan ini, University Of California oleh Dalziel pada tahun 1968, untuk mendapatkan nilai pendekatan suatu percobaan telah dilakukan dengan menggunakan binatang yang mempunyai badan dan jantung kira-kira sama dengan manusia. Dari percobaan tersebut Dalziel menarik kesimpulan bahwa 99,5 % dari semua orang yang beratnya lebih kurang dari 50kg masih dapat bertahan terhadap besar arus dan waktu yang ditentukan sebagai berikut:

$$I_k^2 t = K \text{ atau } I_k = \frac{k}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots (2.24)$$

dimana:

$$k = \sqrt{K}$$

$$K = 0,0135 \text{ untuk manusia dengan berat 50kg}$$

$$K = 0,0246 \text{ untuk manusia dengan berat 70kg}$$

Maka:

$$K_{50} = 0,116 \text{ Ampere}$$

Jadi I_k untuk berat badan 50kg adalah:

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \text{ Ampere} \dots\dots\dots (2.25)$$

dimana:

I_k = besarnya arus yang melewati tubuh manusia (Ampere)

t = Lamanya gangguan (Detik)

2.5.3. Arus Fibrilasi (*Fibrilating Current*)

Apabila arus yang melalui tubuh manusia lebih besar dari arus yang mempengaruhi otot dapat menyebabkan orang menjadi pingsan bahkan sampai meninggal. Hal ini disebabkan arus listrik tersebut mempengaruhi jantung yang disebut *ventricular fibrillation* yang menyebabkan jantung berhenti dan peredaran darah tidak jalan dan orang akan meninggal. Untuk menyelidiki keadaan ini tidak mungkin dilakukan terhadap manusia. Untuk mendapatkan nilai pendekatan suatu percobaan telah dilakukan di **University of California** oleh **Dalziel** pada tahun 1968, dengan menggunakan binatang yang mempunyai badan dan jantung yang kira-kira sama dengan manusia.

Dari percobaan tersebut Dalziel menarik kesimpulan bahwa 99,5 % dari semua orang yang beratnya 50 kg masih dapat menahan besar arus dan waktu yang ditentukan.

2.5.4. Arus Reaksi (*Reaction Current*)

Arus reaksi adalah arus yang terkecil yang dapat menyebabkan orang menjadi terkejut, hal ini cukup berbahaya karena dapat mengakibatkan kecelakaan sampingan. Karena terkejut orang dapat jatuh dari tangga, melemparkan peralatan yang sedang

dipegang yang dapat mengenai bagian-bagian yang bertegangan tinggi sehingga akan menimbulkan terjadinya kecelakaan yang lebih fatal.

Penyelidikan yang terperinci telah dikemukakan oleh DR. Hans Prinz, dimana batasan-batasan arus dan pengaruhnya pada manusia dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut

Tabel 2.4. Batasan-batasan Arus dan Pengaruhnya Pada Manusia

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

2.5.5. Tahanan Tubuh Manusia.

Tahanan tubuh manusia berkisar diantara 500 ohm-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 terhadap tegangan

tinggi kulit yang menyetuh konduktor langsung terbakar, jadi tahanan kulit ini tidak berarti. Jadi hanya tahanan tubuh yang dapat membatasi arus.

Penyelidikan dan penelitian tahanan tubuh manusia yang diperoleh beberapa orang ahli dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5. Berbagai Harga Tahanan Tubuh Manusia

Penelitian	Tahanan (ohm)	Keterangan
Dalziel	500	Dengan tegangan 60 cps
AIEE Committee Report	2.330	Dengan tegangan 21 Volt.
	1.130	Tangan ke tangan $I_k = 9 \text{ mA}$
	1.680	Tangan ke kaki
	800	Tangan ke tangan dengan arus searah
		Tangan kekaki dengan 50 cps
Laurent	3.000	

Berdasarkan hasil penyelidikan diatas sebagai pendekatan diambil harga tahanan tubuh manusia sebesar 1.000 ohm.

2.5.6. Tahanan Pembumian

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya tahanan pembumian adalah:

- Tahanan jenis tanah dimana elektroda pembumian tersebut ditanam.
- Jenis elektroda pembumian yang dipakai
- Ukuran elektroda pembumian
- Ketelitian pemasangan atau kesempurnaan kontak antara elektroda pembumian dengan tanah.

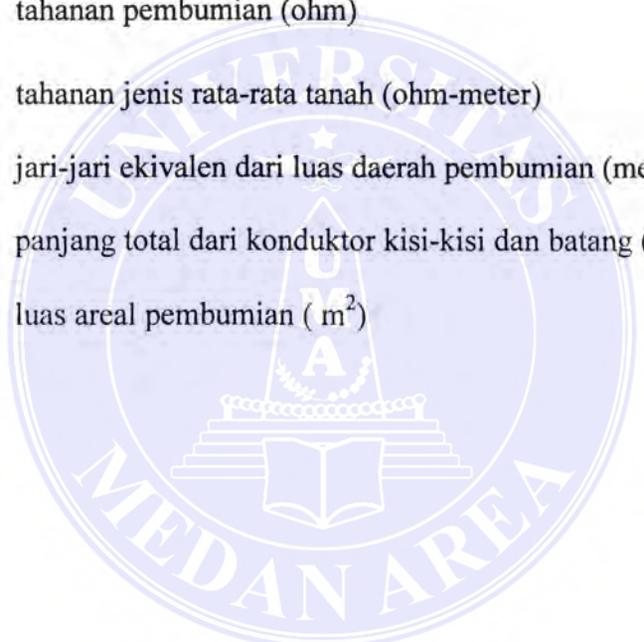
Berdasarkan harga tahanan pbumian dapat dihitung melalui persamaan berikut ini:

$$R_0 = \frac{\rho}{4\pi} + \frac{\rho}{L} \dots\dots\dots (2.26)$$

dimana:

$$R = \left[\frac{A}{\pi} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.27)$$

- R_0 = tahanan pbumian (ohm)
- ρ = tahanan jenis rata-rata tanah (ohm-meter)
- r = jari-jari ekivalen dari luas daerah pbumian (meter)
- L = panjang total dari konduktor kisi-kisi dan batang (meter)
- A = luas areal pbumian (m²)



BAB III

SISTEM PEMBUMIHAN GARDU INDUK SEI ROTAN DAN PENGUKURAN TAHANAN JENIS TANAH

3.1. Kondisi Gardu Induk Sei Rotan

Gardu induk 150 KV /20 KV, 30 MVA Sei Rotan yang dikenal dengan nama gardu induk Sei rotan, dipresentasikan oleh diagram satu garis (*Singel Line Diagram*) seperti yang terlihat pada lampiran gambar, karena sebagian besar peralatan tegangan tingginya merupakan pasangan luar walaupun peralatan kontrolnya pasangan dalam.

Susunan busbar yang digunakan pada sisi 150 KV adalah jenis busbar ganda, dengan penghantar yang digunakan adalah AAAC (*All Aluminium Alloy Conduktor*) dengan diameter 630 mm. Sedangkan busbar pada sisi 20 KV adalah jenis bus bar tunggal dengan jenis penghantar tembaga (Cu)

3.1.1. Peralatan-Peralatan Utama Pada Gardu Induk Sei Rotan

Peralatan-peralatan utama yang terdapat pada gardu induk Sei Rotan merupakan peralatan srtandar yang terdapat pada setiap gardu induk. Peralatan-peralatan utama terdapat pada gardu induk sei rotan adalah sebagai berikut :

1. Transformator Daya

Transformator daya digunakan untuk menyalurkan daya atau energi listrik tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya. Transformator daya yang digunakan adalah jenis terendam minyak (*Oil Immersed*)

2. Rel Daya (*Bus-Bar*)

Merupakan konduktor yang berkapasitas arus besar yang berfungsi sebagai terminal penampungan arus yang masuk dan yang keluar dari gardu induk.

2. Penangkal petir (*lighting Arrester*)

Digunakan untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan yang disebabkan oleh surja petir maupun surja hubung.

3. Pemutus Daya (*circuit Breaker*)

Merupakan saklar yang berfungsi memutuskan ataupun menghubungkan arus/ daya listrik sesuai dengan ratingnya, baik dalam keadaan mengalami gangguan maupun dalam keadaan berbeban. Pemutus daya yang digunakan pada sisi tegangan tinggi adalah Sf Produksi HUOVA MAGRINI GALILEO, dengan kapasitas pemutusan 31,5 KV, sedangkan pada sisi 20 KV dari jenis semburan udara bertekanan (*Air Blast*)

4. Saklar Pemisah (*Disconneting Switch*)

Merupakan peralatan untuk memisahkan bagian rangkaian tertentu dan rangkaian lainnya dalam suatu sistem, dan hanya dapat dioperasikan dalam keadaan beban nol serta harus dapat dilihat apakah keadaannya dapat dilihat apakah keadaannya terbuka atau tertutup. Fungsinya adalah untuk memisahkan bagian yang akan diperiksa atau diperbaiki bagian yang bertegangan. Untuk mencegah saklar pemisah bekerja dalam keadaan berbeban, maka ada sistem tertutup (*Interlocking*) dengan pemutus daya tertentu.

5. Untuk peralatan-peralatan lainnya seperti transformator-transformator instrumen, peralatan kompensasi dan peralatan proteksi merupakan peralatan standar yang digunakan pada setiap gardu induk.

3.2. Penerapan Metode Pembumian Gardu Induk 150 KV

Penerapan metode pembumian pada gardu induk 150 KV didasarkan atas beberapa pertimbangan. Sesuai dengan standar PLN No 2 tahun 1978, telah ditetapkan metode pembumian menurut sistem-sistem 150 KV, 66 KV dan 20 KV. Adapun pemilihan metode didasarkan pada pola kriteria, pertimbangan penerapan dan penetapan pembumian.

3.2.1. Pola Kriteria

Yang menjadi pola kriteria dalam perencanaan adalah keandalan yang tinggi dengan memperlihatkan factor-factor keselamatan manusia yang baik dan ekonomis. Adapun yang menjadi pola kriteria adalah sebagai berikut :

1. Faktor keandalan sistem, meliputi :
 - a. Pemeliharaan keandalan sstem pembumian dan keandalannya
 - b. Penyesuaian denga inter koneksi

2. Faktor keselamatan

Merupakan upaya menjaga keselamatan manusia di dalam atau di luar gardu induk yang meliputi :

- a. Keselamatan dalam keadaan gangguan
- b. Keselamatan di luar keadaan gangguan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

3. Faktor ekonomis, meminimalisasi biaya investasi dengan cara

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)6/9/23

- a. Pemilihan system pembumian dan pengamanannya
- b. Pemilihan tingkat isolasi dasar peralatan utama dan pengamanannya.

3.2.2. Pertimbangan Penerapan

Pembumian langsung (*Solid Grounding*) pada sistem 150 KV memberikan keandalan yang tinggi dan keuntungan faktor ekonomi yang menonjol dari pengurangan tingkat isolasi. Arus gangguan yang besar diimbangi dengan angka keluar (*Out rate*), sehingga keselamatan tetap terjamin.

3.2.3. Penetapan Pembumian

Dengan berpedoman pada pola kriteria dan pertimbangan penerapan, maka pembumian sistem 150 KV adalah sebagai berikut :

- a. Pembumian untuk 150 KV adalah pembumian langsung
- b. Pengamanan sistem 150 KV dilaksanakan dengan pemutus cepat dan penutup cepat.

3.3. Sistem Pembumian Peralatan Pada Gardu Induk Sei Rotan

Secara keseluruhan sistem pembumian pada gardu induk sei rotan adalah menggunakan sistem kisi-kisi atau sistem Grid (*Net/jaring*) untuk lebih mengamankannya lagi, masing-masing peralatan yang ada diareal gardu induk ditanahkan langsung kemudian dihubungkan ke sistem grid tersebut. Data yang diperoleh dari PLN diketahui jarak antara konduktor pada kisi-kisi melintang adalah 7 meter. Penanaman elektroda pembumian yang dilakukan semakin baik

UNIVERSITAS MEDAN AREA

system grid tersebut. Umumnya semakin banyak penanaman elektroda pembumian

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 6/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

yang dilakukan secara paralel sehingga diperoleh tahanan pembumian yang kecil, akan tetapi biayanyapun relatif mahal. Oleh karena itu, penerapan sistem pembumian pada gardu induk Sei Rotan ini dianggap sudah mampu mengamankan peralatan maupun manusia yang berada didalam maupun diluar gardu induk tersebut.

3.4. Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Metode yang digunakan untuk pengukuran tahanan jenis tanah pada gardu induk Sei Rotan adalah menggunakan metode empat titik atau metode empat elektroda (*Four Elektroda Methode*) lokasi pengukuran tahanan jenis tanah dilakukan terhadap tanah disekitar areal gardu induk dengan jenis tanah adalah pasir basah. Jarak antara elektroda yang digunakan dalam pengukuran adalah 3,5 meter dengan dengan panjang elektroda (kedalaman penanaman elektroda) 0,7 meter dan diameter elektroda 3,01 mm.

3.4.1. Peralatan Pengukuran

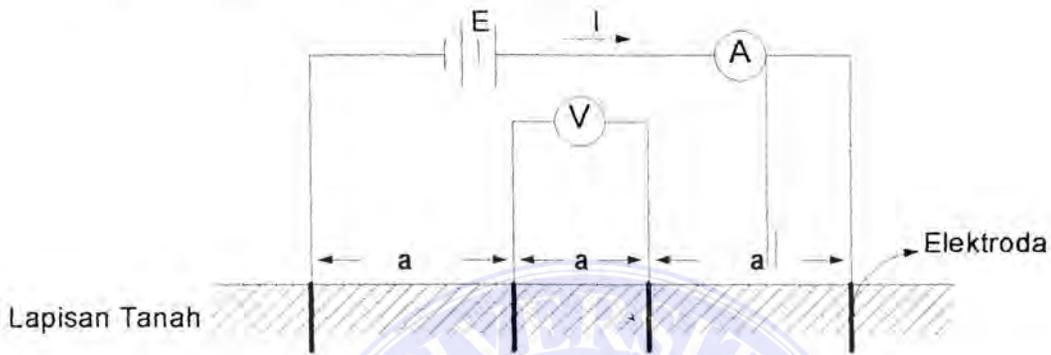
Adapun peralatan yang digunakan dalam pengukuran adalah sebagai berikut :

1. Sumber daya DC 12 Volt
2. Amperemeter DC (Digital)
3. Voltmeter DC (Digital)
4. Elektroda batang empat buah dari bahan Besi dengan diameter penampang 0,5 mm dan panjang 0,7 meter
5. Kabel Penghubung
6. Meteran

3.4.2. Prosedur Pengukuran

Prosedur dalam melakukan pengukuran adalah sebagai berikut :

1. Buat rangkaian seperti gambar di bawah



Gbr 3.1. Pengukuran tahanan jenis tanah

2. Tanamkan elektroda batang dengan jarak masing-masing 3,5 meter
3. Hubungkan elektroda 1 dan elektroda 2 dengan sumber tegangan DC 12 Volt dan sebuah Amperemeter
4. Hubungkan elektroda 3 dan elektroda 4 dengan Voltmeter
5. Catat arus dan tegangan yang terbaca pada alat ukur tersebut

3.4.3. Data Hasil Pengukuran

Pengukuran tahanan jenis tanah yang dilakukan disekitar gardu induk tersebut menggunakan metode empat titik dengan jarak masing-masing elektroda 3,5 meter dan dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dan diambil nilai rata-rata. Adapun hasil pengukuran tegangan dan arus dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3.1. Pengukuran Tegangan dan Arus

N0	Jarak Elektroda	Arus (I)	Tegangan (V)
1	3,5 meter	0,11	0,15
2		0,17	0,2
3		0,19	0,21
4		0,23	0,25
5		0,16	0,19
6		0,17	0,18
7		0,24	0,27
8		0,14	0,21
9		0,13	0,15
10		0,11	0,13

3.4.4. Perhitungan Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran diatas dapat diperoleh harga arus rata-rata dan tegangan rata-rata sebagai berikut :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{0,11 + 0,17 + 0,19 + 0,23 + 0,16 + 0,17 + 0,24 + 0,15 + 0,13 + 0,11}{10}$$

$$= 0,166 \text{ Ampere}$$

$$V_{\text{rata-rata}} = \frac{0,15 + 0,2 + 0,23 + 0,25 + 0,19 + 0,18 + 0,27 + 0,21 + 0,15 + 0,13}{10}$$

$$= 0,196 \text{ Volt}$$

Substitusikan harga arus rata-rata dan tegangan rata-rata tersebut ke persamaan (2.8a) untuk mendapatkan harga tahanan tanah sebagai berikut :

$$R_{34} = \frac{V_{34}}{I}$$

$$R_{34} = \frac{0,196}{0,166}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

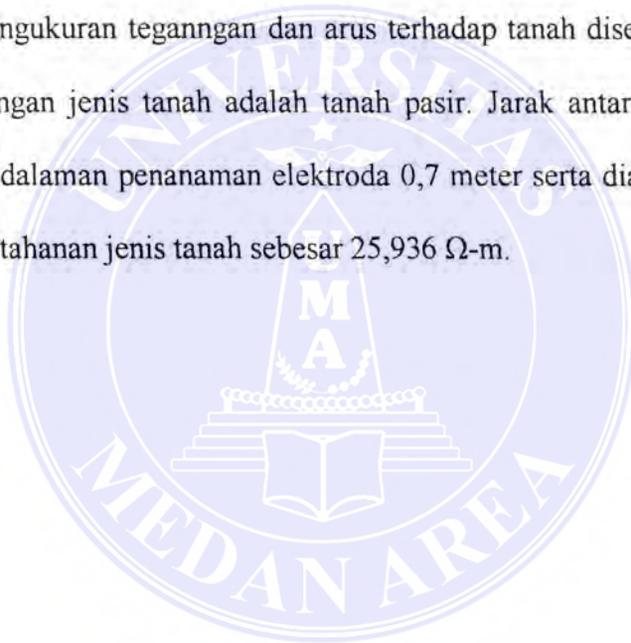
Kemudian substitusikan harga R_{34} ke persamaan (2.9) dengan jarak elektroda (a) adalah 3,5 meter untuk mendapatkan harga tahanan jenis tanah sebagai berikut :

$$\rho = R_{34} \cdot 2\pi a$$

$$\rho = 1,180 \times 2 \times 3,14 \times 3,5$$

$$\rho = 25,936 \Omega\text{-m}$$

Dari hasil pengukuran tegangan dan arus terhadap tanah disekitar gardu induk Sei Rotan dengan jenis tanah adalah tanah pasir. Jarak antara elektroda adalah 3,5 meter, kedalaman penanaman elektroda 0,7 meter serta diameter 3,01 mm diperoleh harga tahanan jenis tanah sebesar 25,936 $\Omega\text{-m}$.



5.1. Kesimpulan

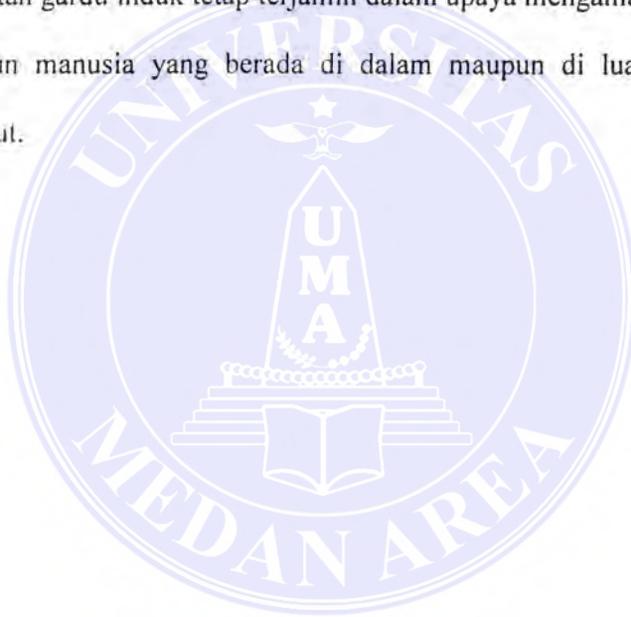
Dari pembahasan dan penelitian yang dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut :

1. Sistem pembumian pada gardu induk Sei Rotan adalah berada dalam batas toleransi keamanan yang baik karena dari hasil pengukuran diperoleh besarnya harga tahanan pembumian (R_0) 0,136 Ohm dan harga tahanan pembumian yang diperoleh dari data PLN 0,50 Ohm, karena sesuai dengan batas yang diijinkan oleh pihak PLN. sehingga dapat mengamankan peralatan maupun manusia yang berada di dalam ataupun di luar gardu induk tersebut.
2. Dari hasil pengukuran dilapangan diperoleh harga tahanan jenis rata-rata tanah (ρ) adalah sebesar 25,936 Ohm-meter. Sementara dari hasil perhitungan diperoleh, besar tegangan mesh lebih kecil dari tegangan sentuh yang diijinkan dan besar tegangan langkah sebenarnya lebih kecil dari tegangan langkah yang diijinkan serta harga tegangan sentuh dan tegangan langkah tersebut masih berada dibawah standart yang diijinkan. Ini menunjukkan bahwa pemilihan jarak kisi- kisi dan panjang konduktor keseluruhan sudah memenuhi persyaratan dalam merencanakan suatu sistem gardu induk.

5.2. Saran

Adapun saran dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pemeliharaan gardu induk secara kontinu agar kemampuan gardu induk terjamin sesuai dengan yang di inginkan.
2. Sebagai masukan untuk PLN, agar mengevaluasi besar tahanan pembumian gardu induk secara berkala supaya besar tahanan pembumian peralatan gardu induk tetap terjamin dalam upaya mengamankan peralatan maupun manusia yang berada di dalam maupun di luar gardu induk tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

1. T.S. Hutauruk. “Pengetanahan Netral Sistem tenaga dan Pengetanahan Peralatan”.
2. D.R. Arismunandar, M.A.S.c. “Teknik Tenaga Listrik” Jilid II
3. D.R. Arismunandar, M.A.S.c. “Teknik Tenaga Listrik” Jilid III
4. D.R. Pabla dan Abdul Hadi. “Sistem Distribusi Daya Listrik” Erlangga.
5. Jakarta, 1994
6. Puil, “Peraturan Umum Instalasi Listrik” 2000
7. Prof. Ir. T.S. Hutauruk. M.S.c. “Transmisi Daya Listrik”.

