

ANALISA PENTANAHAN GARDU DISTRIBUSI 20 KV DARI PENYULANG AIR SALEH (PT. PLN (Persero) Sub Ranting Air Saleh)

Subianto¹, Raden Ahmad Yani²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang
e-mail : subiantodaeny@gmail.com¹
e-mail : ray@yahoo.com²

ABSTRAK

Dalam pembangkitan energi listrik dan pendistribusiannya dapat mengalami berbagai macam gangguan yang dapat menimbulkan terhentinya pusat pembangkit energi listrik maupun penyaluran energi listrik kepada konsumen. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem pembangkitan dan pendistribusian energi listrik ini diantaranya adalah Surja Petir dan Hubung Singkat. Untuk menghindari terjadinya kerusakan peralatan, baik pada pembangkitan, pendistribusian maupun pekerjaannya dari gangguan tersebut, maka diperlukan suatu pengamanan dan perlindungan, salah satu dari pengamanan dan perlindungan tersebut adalah dengan menghubungkan peralatan dengan pemasangan sistem pentanahan. Berdasarkan PUIL 2001 nilai tahanan pentanahan harus dibawah 5 ohm. Dari hasil perhitungan tahanan pentanahan yang dilakukan pada Gardu Distribusi 20 KV dari Penyulang Air Saleh yaitu sebesar 4,75 ohm. Dengan demikian tahanan pentanahan tersebut masih memenuhi standar yang berlaku.

Kata Kunci : Surja Petir, Hubung Singkat, Pembangkitan, Pendistribusian, Tahanan Pentanahan.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Macam-macam jenis pembangkit yang menghasilkan energi listrik yaitu : Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), dan masih banyak lagi pembangkit energi listrik lainnya. Setelah energi listrik tersebut di bangkit kan maka energi listrik tersebut harus di distribusikan ke konsumen atau pemakai.

Dalam proses pembangkitan dan pendistribusian atau penyaluran energi listrik ini, dapat mengalami berbagai macam gangguan yang dapat menimbulkan terhentinya pusat pembangkit energi listrik maupun penyaluran energi listrik ke konsumen. Dan gangguan itu juga dapat mengakibatkan rusaknya peralatan, baik pada pembangkitan maupun pada pendistribusiannya. Terkadang peralatan tersebut tidak dapat langsung diperbaiki karena ketersediaan peralatan belum tentu ada, dan kerusakan peralatan tersebut dapat juga membahayakan manusia. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem pembangkitan dan pendistribusian energi listrik ini diantaranya adalah Surja Petir dan Hubung Singkat.^[1]

1.2. Tujuan Pnelitian

Untuk menghindari terjadinya kerusakan peralatan, baik pada pembangkitan, pendistribusian maupun pekerjaannya dari gangguan tersebut, maka diperlukan suatu pengamanan dan perlindungan, salah satu dari pengamanan dan perlindungan tersebut adalah dengan menghubungkan peralatan dengan pemasangan sistem pentanahan. Maka dilakukan suatu penelitian dengan menghitung besarnya tahanan pentanahan pada Gardu Distribusi tersebut, sehingga didapat besarnya nilai tahanan apakah masih memenuhi standar atau tidak.

1.3. Manfaat Penelitian

Dengan diadakannya penelitian ini setelah mengetahui besarnya nilai tahanan pentanahan yang ada di Gardu Distribusi 20 KV Penyulang Air Saleh, masih memenuhi standar atau tidak, maka dapat terhindarnya gardu distribusi dari kerusakan.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian dilakukan pada Gardu Distribusi 20 KV khususnya di Penyulang Air Saleh, dengan mengetahui data sistem pentanahan yang ada pada gardu distribusi tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dari beberapa macam peralatan pengamanan jaringan tenaga listrik salah satu pengamanan yang paling baik terhadap peralatan listrik dari gangguan seperti arus lebih ataupun hubung singkat yaitu dengan cara pentanahan. Cara ini bukan hanya dapat melindungi peralatan tetapi juga mampu melindungi manusia dari adanya bahaya yang dapat memakan korban, caranya adalah dengan menghubungkan bagian peralatan jaringan listrik tersebut dengan sistem pentanahan. Pentanahan adalah penghubung suatu titik rangkaian listrik dengan bumi dengan cara tertentu, dan apabila hal tersebut akan dilaksanakan, maka perlu dan harus dirancang dengan benar.^[1]

Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, maka harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu sebagai berikut :^[2]

- a) Elektroda pentanahan yang di pakai harus mampu dialiri oleh arus hubung singkat yang terbesar.
- b) Dapat melindungi dan menyalurkan arus gangguan berulang kali ke tanah akibat surja hubung.
- c) Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat kimia yang baik sehingga tidak mudah mengalami korosi.
- d) Bahan elektroda menggunakan material yang kuat namun mudah dalam pengerjaan.

Fungsi Pentanahan

Adalah untuk mengalirkan arus gangguan kedalam tanah melalui suatu elektroda pentanahan yang ditanamkan kedalam tanah pada saat terjadinya gangguan. Disamping itu berfungsi juga sebagai pengamanan baik bagi manusia maupun peralatan.

Macam-macam Pentanahan

Sistem pentanahan dapat dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu :^[2]

1. Pentanahan Sistem.

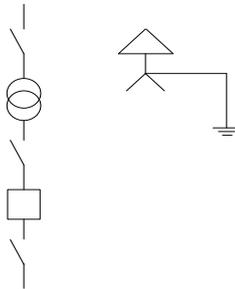
Adalah pentanahan dari titik yang merupakan bagian dari jaringan listrik, misalnya titik netral generator, titik netral transformator atau titik pada hantaran tengah atau hantaran netral. Suatu gangguan pentanahan pada salah satu bagian sistem harus dapat diisolir dan diamankan tanpa mematikan atau mengganggu keseluruhan sistem, sehingga keandalan dan kontinuitas pelayanan kepada pengguna energi listrik ini dapat dijamin (konsumen). Dengan dipasangnya peralatan pentanahan sistem ini diharapkan gangguan dapat dibatasi pada grup sistem yang mengalami gangguan saja.

Ada beberapa macam metode pengetanahan sistem, antara lain :

- *Pentanahan Tanpa Impedansi / Langsung (Solid Grounding)*

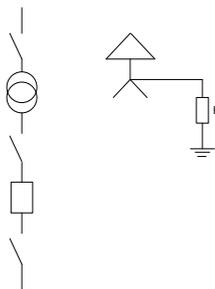
Dalam sistem ini titik netral dihubungkan langsung pada elektroda yang mempunyai kontak dengan tanah, tujuan utama dari pentanahan secara langsung ini adalah untuk membatasi kenaikan tegangan dari fasa-fasa yang terganggu mendekati harga nol, adapun tujuan lain dari

metode ini adalah untuk mengurangi sebagian atau keseluruhan arus kapasitif ke tanah saat terjadi hubung singkat tanah.



Gambar 1. Pentanahan Tanpa Impedansi / Langsung

- *Pentanahan Melalui Tahanan (Resistance Grounding).*
 Dalam metode ini tahanan dipasang antara titik netral transformator dengan tanah. Tahanan ini memiliki harga ohm yang tinggi dibandingkan dengan reaktansi sistem sehingga arus gangguan ke tanah dibatasi oleh resistor tersebut, jika harga tahanan ini rendah akan mengakibatkan arus gangguan hubung singkat menjadi besar dan kondisi ini mendekati metode pentanahan langsung.



Gambar 2. Pentanahan Melalui Tahanan

- *Pentanahan Efektif.*
 Pentanahan dimana tiap-tiap titik sistem itu atau untuk sebagian tertentu dari sistem itu diperoleh perbandingan harga antara reaktansi urutan nol dan reaktansi urutan positif lebih kecil atau sama dengan satu ($x_0/x_1 \leq 3$; $R_0/X_1 \leq 1$) untuk setiap macam keadaan kerja dari sistem itu. Keuntungan pentanahan efektif :
 - Proteksi gangguan tanah sederhana
 - Tegangan dasar frekuensi dapat dikontrol dengan baik
 - Busur tanah tidak dapat terjadi karena arus hubung singkat menghapuskan arus kapasitif dan menghilangkan pengaruhnya.
 - Pengenal tegangan arrester dapat diperbesar dengan 25%.

Sedangkan kerugian dari pentanahan efektif ini adalah :

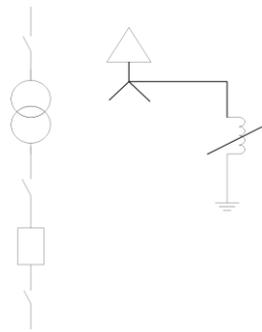
- Arus gangguan besar dan dapat merusak peralatan ditempat terjadinya gangguan
- Tiap terjadinya hubung singkat selalu mengakibatkan terputusnya saluran (hal ini hanya dapat dicegah dengan pentanahan Kumparan Peterson, dengan pentanahan melalui

Kumparan Peterson maka arus hubung singkat kecil, jadi kontinuitas kerja dapat diteruskan selama dipandang perlu)

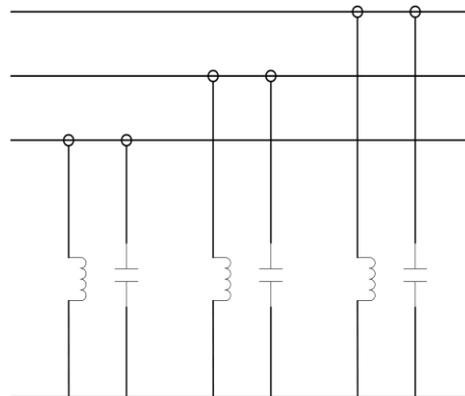
- c. Dapat membahayakan manusia atau benda hidup bila berada didekat gangguan.
- d. Dapat merusak isolator pada kawat transmisi udara yang disebabkan arus susulan.

- *Pentanahan dengan Kumputan Peterson Coil.*

Adalah suatu pentanahan yang menggunakan suatu belitan induktif yang dapat diatur. Prinsip Peterson Coil ini adalah bila pada suatu sistem yang tidak diketanahkan terganggu oleh hubung singkat kawat tanah maka arus gangguan kapasitif tersebut akan kembali ke sistem melalui titik gangguan itu. Suatu keadaan istimewa apabila dua macam arus gangguan yang sama besarnya tetapi berlawanan arahnya terjadi pada gangguan tersebut sehingga menghilangkan. Hal ini terjadi bila pada arus gangguan yang kapasitif itu ditambahkan arus induktif yang tertentu besarnya dengan menambahkan reaktor paralel dengan kapasitor pada setiap fasa ke tanah.



Gambar 3. Pentanahan Titik Netral dengan Pentanahan Coil



Gambar 4. Pentanahan Titik Netral dengan Reaktor Fasa

2. *Pentanahan Penangkal Petir.*

Untuk menghindari timbulnya kecelakaan ataupun kerugian akibat adanya sambaran petir, maka diadakan usaha instalasi penangkal petir pada bangunan. Sambaran petir ini akan mengakibatkan kerusakan langsung pada objek yang tersambar, dengan adanya instalasi penangkal petir ini, maka diharapkan sambaran petir dapat dikendalikan melalui instalasi penangkal petir yang diteruskan ke bumi.

3. *Pentanahan Peralatan.*

Pentanahan peralatan berlainan dengan pentanahan sistem, adalah pentanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Tujuan dari pentanahan peralatan tersebut adalah :

- 1) Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman (tidak membahayakan) untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal. Untuk mencapai tujuan ini, suatu sistem pentanahan peralatan sangat dibutuhkan. Sistem pentanahan ini gunanya untuk memperoleh potensial yang merata dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga agar operator atau orang yang berada di daerah instalasi itu pada potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu.
- 2) Untuk memperoleh impedansi yang kecil/rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Bila arus hubung singkat ini dipaksakan mengalir ke tanah melalui impedansi yang tinggi, ini akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar yang berbahaya, dan dapat mengakibatkan kecelakaan kerja pada operator yang bertugas.

Pentanahan peralatan ini pada umumnya menggunakan dua macamsistem pentanahan yaitu :

1. Pentanahan Sistem Grid (Horizontal)
2. Pentanahan Sistem Rod (Vertikal).

Elektroda Pentanahan^{[1],[2]}

Adalah penghantar yang di tanamkan kedalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. Adanya kontak langsung ini dengan tujuan agar diperoleh pelaluan arus yang sebaik-baiknya apabila terjadi gangguan sehingga arus tersebut disalurkan ke tanah. Bahan konduktor merupakan bahan yang digunakan sebagai elektroda pentanahan, yang berdasarkan ketentuan maka bahan tersebut adalah besi, aluminium, dan tembaga. Dari ketiga bahan tersebut ditinjau dari sifat mekanis, listrik dan kimiawi maka bahan tembaga mempunyai keunggulan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan yang lain, namun ditinjau dari segi biaya tembaga lebih mahal.

Tahanan tanah disekitar elektroda tergantung pada tahanan jenis tanah. Pada sistem pentanahan terdapat beberapa komponen yang berpengaruh terhadap besar tahanan pentanahan yaitu :

1. Tahanan elektroda pentanahan beserta sambungan-sambungan pada nya.
2. Tahanan kontak antara elektroda pentanahan dengan tanah disekitarnya.
3. Tahanan pentanahan di sekitarnya.

Dari ketiga komponen diatas, tahanan pentanahan merupakan besaran yang paling besar pengaruhnya pda tahanan pentanahan dibandingkan tahanan elektroda dan tahanan kontak. Untuk mendapatkan tahanan pembumian yang kecil, diperlukan elektroda pentanahan. Prinsip dasar untuk memperoleh tahanan yang kecil adalah dengan membuat permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah sebesar mungkin, sesuai dengan rumus berikut :

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Keterangan :

R = Tahanan pentanahan (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ωm)

l = Panjang lintasan arus pada tanah (m)

A = Luas penampang lintasan arus pada tanah (m^2)

Selain ditentukan oleh luas permukaan elektroda pentanahan dan tahanan jenis tanah, tahanan pentanahan ditentukan juga oleh bentuk elektroda pentanahan yang dipergunakan antara lain :

- 1) Elektroda Bentuk Batang.
- 2) Elektroda Bentuk Pita.
- 3) Elektroda Bentuk Plat.

Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pengetanahan dan kapasitansi disekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang dipresentasikan dengan ρ . Berikut ini adalah tabel tahanan jenis (Resistansi) untuk beberapa jenis tanah, yaitu :

Tabel : Tahanan Jenis (ρ) untuk Beberapa Jenis Tanah.

No.	Sifat Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ωm)
1.	Tanah Rawa	30
2.	Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
3.	Pasir Basah	200
4.	Pasir Kering	1000
5.	Kerikil Basah	500
6.	Kerikil Kering	1000
7.	Tanah Berbatu	3000

Sumber : PUIL 2001^[3]

Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung pada beberapa faktor, yaitu antara lain :

- a. Keadaan struktur tanah antara lain : struktur geologi seperti tanah liat, tanah rawa, tanah berbatu, tanah pasir, tanah gambut dan sebagainya.
- b. Unsur kimia yang terkandung dalam tanah, seperti : garam, logam, dan mineral lainnya.
- c. Keadaan iklim; basah atau kering.
- d. Temperatur tanah dan jenis tanah.

3. METODELOGI PENELITIAN

Sistem Pentanahan Gardu Distribusi 20 KV dari Penyulang Air Saleh.

Wilayah kerja PT. PLN (Persero) Sub Ranting Air Saleh melayani daerah kota Kecamatan Air Saleh Kabupaten Banyuwasin, sumber energi listriknya disuplai dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dengan satu buah penyulang yang memiliki tegangan kerja 20 KV dan mensuplai 10 buah gardu distribusi dengan rincian sebagai berikut :

Tabel : Data Gardu Distribusi Penyulang Air Saleh.

Nama Penyulang	Jumlah Gardu Distribusi	Jumlah KVA
Air Saleh	10	510

Sumber Data : PT. PLN (Persero) Sub ranting Air Saleh

Sistem Jaringan Distribusi.

Sistem jaringan distribusi di wilayah kerja PT. PLN (Persero) Sub Ranting Air Saleh menggunakan saluran udara yaitu SUTM, dengan sistem yang digunakan adalah sistem radial.

Peralatan Jaringan Distribusi 20 KV, yaitu :

- *Konduktor*, di daerah jaringan tersebut pada umumnya menggunakan jenis konduktor tipe AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) dengan ukuran penampang 70 mm dan ada juga yang menggunakan jenis konduktor kabel tanah (NYFGbY) dengan ukuran 3 x 150 mm.
- *Isolator*, jenis-jenis yang digunakan antara lain :
 - ~ Isolator Tumpu sebagai tumpuan dari konduktor saluran,
 - ~ Isolator Tarik yang pada umumnya dipergunakan sebagai pegangan dari konduktor bagian ujung dan pangkal atau pada tiang gardu-gardu distribusi, dimana beban kerja dari isolator ini adalah beban tarikan.

Untuk melakukan perhitungan tahanan pentanahan dengan menggunakan elektroda batang tunggal ini adalah dengan persamaan berikut : ^[2]

$$R_{bt} 1 = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right)$$

Keterangan :

$R_{bt} 1$ = Tahanan pembumian elektroda batang (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ωm)

L = Panjang batang yang tertanam (m)

d = diameter elektroda batang (m)

\ln = logaritmus dasar ($e = 2,7182818$)

4. PEMBAHASAN

A. Perhitungan Tahanan Pentanahan Satu Batang Elektroda Batang.

Dalam hal ini tahanan spesifik jenis tanah tidak dapat diukur secara langsung, jadi untuk menentukan besarnya tahanan jenis tanah ini dapat dilihat pada tabel 2.1, berikut data yang diperoleh di lapangan :

Tabel : Data Batang Elektroda yang Ada di Lapangan.

No.	Keterangan	Jenis/Ukuran
1.	Bentuk Elektroda	Batang
2.	Bahan Elektroda	Galvanis
3.	Panjang Elektroda	3 meter
4.	Diameter Elektroda	¼ inch = 0,01905 meter
5.	Jenis Tanah	Tanah berair, tanah humus pada kondisi lembab = 30 ohm

Sumber : PT. PLN (Persero) Sub Ranting Air Saleh

• Hasil Perhitungan Tahanan Pentanahan.

Dari persamaan perhitungan tahanan pentanahan diketahui bahwa besarnya resistansi pentanahan sangat dipengaruhi oleh jenis tanah, panjang elektroda, diameter elektroda. Berikut hasil perhitungan dari data pada tabel diatas :

$$R_{bt\ 1} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right)$$

$$R_{bt\ 1} = \frac{30}{2 \times 3,14 \times 3} \left[\ln \left(\frac{4 \times 3}{0,01905} \right) - 1 \right]$$

$$R_{bt\ 1} = \frac{30}{18,84} \left[\ln \left(\frac{12}{0,01905} \right) - 1 \right]$$

$$R_{bt\ 1} = 1,5923 \times 5,4456 = 8,671 \ \Omega$$

Jadi berdasarkan hasil perhitungan tahanan pentanahannya sebesar : 8,671 Ω .

Bila dilakukan perubahan panjang elektroda menjadi 6 meter dan data yang lainnya masih tetap, maka tahanan pentanahannya menjadi :

$$R_{bt\ 1} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right)$$

$$R_{bt\ 1} = \frac{30}{2 \times 3,14 \times 6} \left[\ln \left(\frac{4 \times 6}{0,01905} \right) - 1 \right]$$

$$R_{bt\ 1} = \frac{30}{37,68} \left[\ln \left(\frac{24}{0,01905} \right) - 1 \right]$$

$$R_{bt\ 1} = 0,7962 \times 6,1387 = 4,8877 \ \Omega$$

Dan bila dilakukan perubahan pada jumlah elektroda yang ditanam menjadi dua batang dengan kedalaman tetap 3 meter, untuk jarak elektroda $s = 4$ meter,

$$R_{bt\ 2} = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi L} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \right)$$

Untuk $s > L$, maka :

$$R_{bt\ 2} = \frac{30}{4 \times 3,14 \times 3} \left(\ln \frac{4 \times 3}{0,01905} - 1 \right) + \frac{30}{4 \times 3,14 \times 4} \left(1 - \frac{(3)^2}{3 \times (4)^2} + \frac{2 \times (3)^4}{5 \times (4)^4} \right)$$

$$R_{bt\ 2} = \frac{30}{37,68} (5,4456) + \frac{30}{50,24} \left(1 - \frac{9}{48} + \frac{162}{1280} \right)$$

$$R_{bt\ 2} = 0,7962 (5,4456) + 0,5971 (0,6859)$$

$$R_{bt\ 2} = 4,3357 + 0,4096 = 4,7453 \ \Omega$$

Sistem pentanahan dengan menggunakan metode ini yang digunakan pada Gardu Distribusi Air Saleh yaitu sebesar 4,7453 Ω. Untuk jarak antara elektroda sebesar s = 2,5 meter :

$$R_{bt}^2 = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \right)$$

Untuk $s < L$, maka :

$$R_{bt}^2 = 0,7962 (6,0142 + 0,3742) = 5,0865 \Omega$$

• **Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan.**

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan dilapangan, maka dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel : Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan.

No.	Nama Gardu Distribusi	Hasil Pengukuran
1.	Air Saleh (AS 01)	3 Ω
2.	Air Saleh (AS 02)	4 Ω
3.	Air Saleh (AS 03)	5 Ω

B. Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan.

Setelah dilakukan perhitungan dan pengukuran di lapangan, maka dapat dilihat hasilnya pada tabel berikut :

Tabel : Perbandingan Hasil perhitungan dan Pengukuran Tahanan Pentanahan Gardu Distribusi Air Saleh.

No.	Nama Gardu Distribusi	Hasil Pengukuran	Hasil Perhitungan
1.	Air Saleh (AS 01)	3 Ω	4,7453 Ω
2.	Air Saleh (AS 02)	4 Ω	
3.	Air Saleh (AS 03)	5 Ω	

Berdasarkan hasil perbandingan dari perhitungan dan pengukuran ini terdapat perbedaan hasil dikarenakan beberapa faktor, diantaranya adalah :

- Kurang tepatnya dalam menentukan tahanan jenis tanah.
- Kurang tepatnya menentukan panjang dan kedalaman elektroda batang yang tertanam.
- Kurang tepatnya menentukan diameter elektroda yang tertanam.
- Kondisi tanah pada saat dilakukan pengukuran

- Adanya unsur-unsur lain seperti logam yang terkandung didalam tanah
- Kurang tepatnya menentukan metode pengukuran yang dipakai.

5. PENUTUP

1. Nilai tahanan merupakan tolak ukur untuk menilai baik atau buruknya suatu sistem pentanahan, semakin kecil nilai suatu pentanahan, semakin baik pula sistem pentanahan tersebut.
2. Sesuai dengan analisa melalui perhitungan dan pengukuran di lapangan, kondisi pentanahan di gardu distribusi masih tergolong cukup baik yaitu sebesar $4,7453 \Omega$ sehingga keamanan dapat terjamin.
3. Nilai tahanan di gardu distribusi memenuhi syarat karena sesuai dengan standar nilai pentanahan yaitu kurang dari 5Ω .

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. TS. Hutauruk, (1991), Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan, Erlangga, Jakarta.
- [2]. F. Suryatmo, (2008), Teknik Pengukuran Listrik dan Elektronika, Bumi Aksara, Jakarta.
- [3]. Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL), 2001.