

ANALISIS KEAMANAN SISTEM PENTANAHAN GARDU INDUK 150 KV SEMANU

Raziv Aldi Kurniawan, Ramadoni Syahputra, Kunnu Purwanto
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Kasihan,
Bantul, Yogyakarta 55183
Email: razivaldi15@gmail.com

Intisari

Analisis sistem pentanahan di Gardu Induk 150 kv Semanu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah manusia yang berada pada area gardu induk tersebut aman terhadap tegangan sentuh dan tegangan langkah pada saat terjadi gangguan pada sistem penyaluran tenaga listrik. Analisis sistem pentanahan dilakukan dengan mengetahui kondisi sistem pentanahan dan jenis tanah yang ada di lokasi tersebut. Selanjutnya dilakukan perhitungan dan membandingkan perhitungan tersebut dengan standar yang dikeluarkan oleh IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) nomor 80 yang membahas tentang prosedur untuk keamanan pentanahan gardu induk arus AC. Pada penelitian ini diperoleh hasil tegangan langkah untuk 50 kg sebesar 712,4 volt dan untuk 70 kg sebesar 962 volt, sedangkan tegangan langkah sebenarnya adalah 68,04 volt. Lalu tegangan sentuh untuk 50 kg adalah 280,85 volt dan untuk 70 kg adalah 379,25 volt, sedangkan tegangan sentuh sebenarnya sebesar 33,1 volt. Berdasarkan standar tersebut sistem pentanahan yang aman adalah ketika tegangan sentuh/langkah yang sebenarnya lebih kecil daripada tegangan sentuh/langkah yang diizinkan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem pentanahan di Gardu Induk 150 kv Semanu sudah memenuhi standar aman berdasarkan IEEE std.80 *Guide for Safety in AC Substation Grounding*.

Kata Kunci: Pentanahan Gardu Induk, Tegangan Langkah, Tegangan Sentuh

1. PENDAHULUAN

Gardu Induk 150 kv Semanu merupakan salah satu bagian penting dari penyaluran tenaga listrik sebelum akhirnya digunakan oleh konsumen. Saat penyaluran tenaga listrik dapat saja terjadi masalah atau gangguan yang dialami oleh sistem penyaluran tersebut. Arus gangguan yang terjadi pada sistem penyaluran tenaga listrik dapat merusak peralatan dan membahayakan manusia yang ada di gardu induk tersebut. Oleh sebab itu, agar gardu induk dapat berfungsi dengan baik sebagaimana fungsinya diperlukan sistem proteksi yang dapat mengamankan arus gangguan yang terjadi. Sistem pentanahan pada gardu induk biasanya dibuat dengan menanamkan batang konduktor yang ditanam dengan kedalaman tertentu sehingga berbentuk seperti jaring. Nilai

hambatan sistem pentanahan yang ideal adalah mendekati 0 atau $\leq 1\Omega$. Untuk mengetahui apakah sistem pentanahan yang digunakan di Gardu Induk 150 kv Semanu maka diperlukan suatu standar yang digunakan sebagai acuan. Salah satu standar pentanahan yang dapat digunakan adalah standar nomor 80 yang dikeluarkan oleh IEEE dengan judul *Guide for Safety in AC Substation*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan merupakan salah satu dasar dalam sistem proteksi karena sistem pentanahan dapat digunakan untuk sistem penangkal petir, pentanahan peralatan gardu induk, pentanahan netral dalam penyaluran tenaga listrik, dan

pentanahan untuk suatu peralatan elektronik dan komunikasi yang sangat memerlukan sistem pentanahan. Pada gardu induk biasanya menggunakan sistem pentanahan jenis *grid* yang berbentuk seperti jaring.

Sistem pentanahan dapat dikatakan baik jika nilai hambatannya semakin kecil karena dapat menyalurkan arus gangguan dengan lancar sehingga arus gangguan tersebut tidak merambat menuju sistem kelistrikan. Dalam beberapa standar yang telah disepakati nilai hambatan pentanahan untuk saluran transmisi dan saluran komunikasi tidak boleh memiliki nilai hambatan pentanahan melebihi 1Ω , sedangkan untuk bangunan atau gedung nilai hambatan pentanahan yang diperoleh tidak boleh melebihi 5Ω .

2.2 Hambatan Tubuh Manusia

Tubuh manusia merupakan suatu penghantar, sehingga hukum ohm juga berlaku terhadap tubuh manusia. besarnya arus yang melewati tubuh manusia bergantung dengan besarnya tegangan sentuh dan impedansi yang dihasilkan oleh tubuh manusia itu sendiri sehingga dapat ditulis persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{E}{Z} \quad (2.10)$$

Dimana : I = Arus yang mengalir (A)

E = Tegangan sentuh (V)

Z = impedansi pada tubuh manusia (Ω)

Hambatan tubuh manusia berada antara kaki dan tangan, yaitu dari satu kaki ke kaki yang lain atau satu tangan ke kedua kaki. Hambatan dari jaringan tubuh bagian dalam, tidak termasuk kulit, kira - kira 300Ω , sedangkan hambatan tubuh beserta kulit adalah antara $500 - 3000\Omega$.

2.4 Batasan Arus yang Dapat Diterima oleh Tubuh Manusia

Adanya gangguan tanah dapat mengakibatkan beda potensial di permukaan tanah, sehingga arus gangguan dapat mengalir melalui tubuh manusia dapat membahayakan manusia itu sendiri. Efek dari arus listrik yang melewati bagian-

bagian vital tubuh manusia bergantung pada durasi, besar, dan frekuensi dari arus tersebut. Bagian dari tubuh manusia paling berbahaya jika terkena paparan semacam ini adalah jantung, kondisi ini biasa disebut sebagai fibrilasi ventrikel, yang mengakibatkan terhambatnya sirkulasi darah dengan cepat.

Tabel. 1 Pengaruh arus pada tubuh

Besar Arus	Pengaruh Pada Manusia
0 – 0,9 mA	Tidak berpengaruh dan menimbulkan reaksi.
0,9 – 1,2 mA	Merasakan adanya arus listrik tetapi tidak mengakibatkan kejang atau kehilangan kontrol.
1,2 – 1,6 mA	Merasakan ada aliran listrik yang mengalir di tangan.
1,6 – 6,0 mA	Mulai kesemutan pada bagian tangan sampai siku.
6,0 – 8,0 mA	Merasa kesemutan dan tangan menjadi kaku.
13 – 15 mA	Rasa sakit tak tertahankan.
15 – 20 mA	Mulai lemas dan tidak dapat melepaskan konduktor.
20 – 50 mA	Bisa merusak organ pada tubuh .
50 – 100 mA	Mengakibatkan kematian.

2.5 Arus Fibrilasi

Apabila arus yang melewati tubuh manusia lebih besar daripada batas arus yang berpengaruh otot maka hal tersebut mengakibatkan pingsan atau bahkan sampai mati. Hal itu terjadi karena arus listrik tersebut mempengaruhi jantung, sehingga jantung tersebut berhenti bekerja dan peredaran darah tidak jalan sehingga dapat menyebabkan kematian. Kejadian itu disebut dengan *Ventricular Fibrillation*.

Percobaan yang telah dilakukan oleh Daziel menyatakan bahwa 99,5% dari semua orang yang berat badannya lebih kurang 50 kg masih dapat bertahan terhadap arus listrik dengan waktu yang bisa ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t}}$$

$$k = \sqrt{S_B}$$

Keterangan:

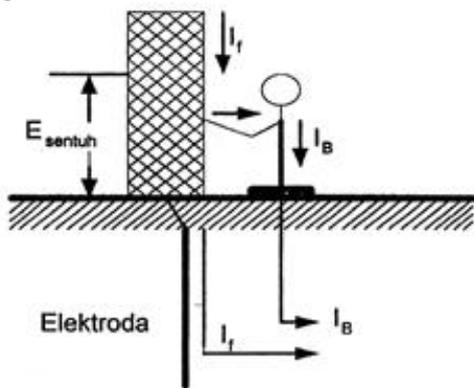
I_B = Besaran arus yang melewati tubuh manusia (A)

t = waktu arus melewati tubuh manusia (detik)

S_B = konstanta empiris yang terkait dengan kejutan listrik yang dapat ditoleransi oleh beberapa sampel populasi

2.6 Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang muncul pada bagian alat/instalasi yang seharusnya tidak dialiri oleh arus listrik. Hal ini disebabkan oleh kegagalan isolasi pada alat/instalasi tersebut. Jika alat/instalasi tersebut tidak memiliki sistem pentanahan maka tegangan sentuh yang ditimbulkan memiliki besar yang sama dengan tegangan sistem alat/instalasi tersebut. Hal tersebut tentunya sangat membahayakan keselamatan manusia yang mengoperasikan atau berada pada area tersebut. Keadaan tersebut dapat terus terjadi jika alat pengaman arus lebih (*over current relay*) tidak memutuskan rangkaian.



Gambar 1. Tegangan sentuh

$$E_{sentuh} = I_B \left(R_B + \frac{R_f}{2} \right)$$

Dengan :

E_{sentuh} : Tegangan sentuh (V)

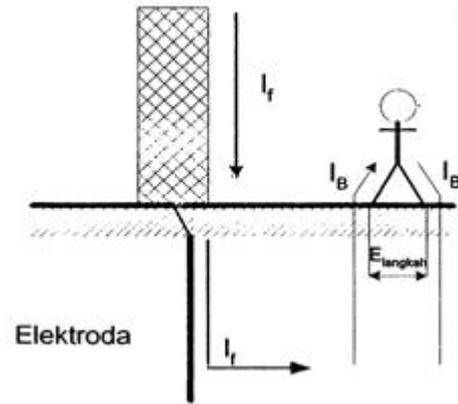
I_B : Arus yang melewati tubuh (A)

R_B : Hambatan tubuh (Ω)

R_f : Hambatan kontak kebumi (Ω)

2.7 Tegangan Langkah

Tegangan langkah merupakan tegangan yang muncul di antara kedua kaki manusia ketika berdiri di atas permukaan tanah yang sedang dialiri arus gangguan. Hal ini terjadi karena arus gangguan menyebar seperti gelombang yang memiliki kekuatan berbeda disetiap gelombangnya sehingga ketika seseorang melangkah kedua kaki tersebut dapat menimbulkan beda potensial.



Gambar 2. Tegangan Langkah

$$E_{langkah} = I_B (R_B + 2R_f)$$

Dengan :

$E_{langkah}$: Tegangan langkah (V)

I_B : Arus yang melewati tubuh (A)

R_B : Resistans tubuh (Ω)

R_f : Resistans kontak kaki (Ω)

2.8 Tegangan Pindah

Tegangan pindah merupakan hal khusus dari tegangan sentuh, dimana orang yang berdiri dan menyentuh konduktor di lokasi yang jauh dari area gardu induk namun konduktor tersebut diketanahkan pada area gardu induk. Hal ini juga bisa terjadi ketika seseorang di area gardu induk menyentuh konduktor yang diketanahkan jauh dari area gardu induk. Tegangan pindah ini biasanya disalurkan melalui saluran komunikasi, saluran pipa, kabel netral tegangan, dll. Tegangan pindah ini sangat sulit untuk dibatasi, salah satu cara untuk menghindari adanya tegangan pindah adalah dengan menggunakan isolator yang baik di berbagai jenis saluran.

$$E_{pindah} = I \times R_0$$

$$R_0 = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

Dengan :

ρ = Hambatan Jenis Tanah ($\Omega.m$)

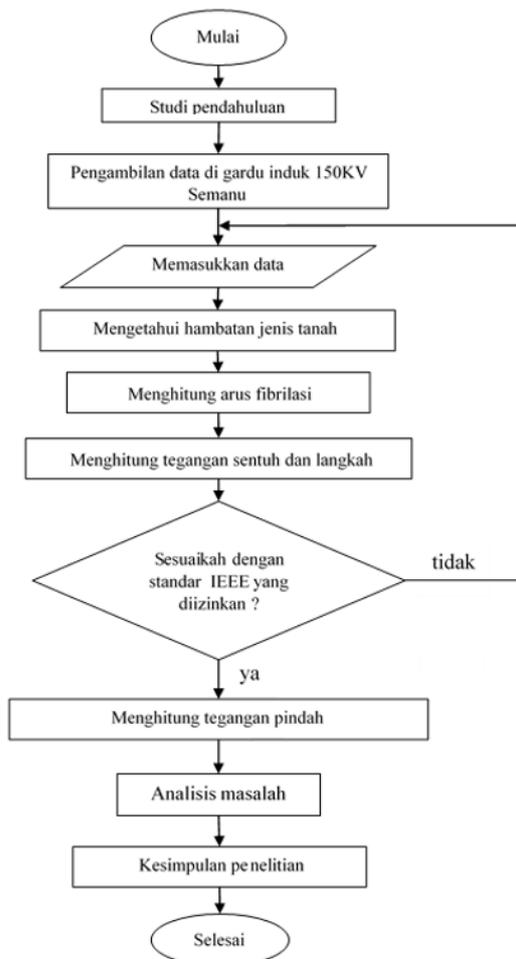
I = Arus gangguan (A)

r = Jari-jari ekuivalen dari luas gardu induk

L = Panjang total dari konduktor pentanahan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan beberapa tahapan, mulai dari studi pendahuluan, pengambilan data, serta analisis perhitungan yang dapat dilihat pada diagram alur berikut:



Gambar 3. Diagram alur

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hambatan Jenis Tanah

Nilai hambatan jenis tanah bervariasi sesuai dengan komposisi tanah. Untuk

mendapatkan nilai hambatan jenis tanah yang lebih teliti perlu diadakan pengukuran secara langsung di Gardu Induk 150 kv Semanu. Tercatat bahwa hambatan tanah dilokasi tersebut adalah $0,75\Omega$. Untuk menghitung tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = 2\pi aR$$

$$\rho = 2 \times 3,14 \times 7 \times 0,75$$

$$\rho = 32,97 \Omega.m$$

Dengan demikian ditemukan bahwa hambatan jenis di Gardu Induk 150 kv Semanu sebesar $32,97 \Omega.m$

4.2 Arus Fibrilasi

Besarnya arus fibrilasi yang mengalir pada tubuh manusia yang dapat menyebabkan jantung berhenti dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t}}$$

Keterangan: $k_{50} = 0,116$

$k_{70} = 0,157$

dengan t = lama waktu gangguan (detik)

Lama waktu gangguan yang terjadi adalah 0,72 detik sehingga didapatkan nilai arus fibrilasi bobot 50kg sebesar 0,137 A sedangkan bobot 70kg sebesar 0,185 A.

4.3 Batas Tegangan Langkah

Untuk mencari nilai batas tegangan langkah dapat menggunakan persamaan :

$$E_l = (R_B + 2R_f) I_B$$

$$E_l = (1000 + 6C_s \times \rho_s) I_B$$

$$E_l = (1000 + 6 \times 0,7 \times 1000) 0,137$$

$$E_{l50} = 712,4 \text{ volt untuk } 50 \text{ kg}$$

$$E_{l70} = 962 \text{ volt untuk } 70 \text{ kg}$$

Keterangan:

ρ_s = tahanan lapisan permukaan tanah (kerikil koral)

C_s = faktor koreksi untuk perbedaan jenis tanah

Berdasarkan perhitungan di atas batas tegangan langkah yg bisa diterima manusia dengan bobot 50 kg adalah 712,4 volt dan untuk bobot 70 kg sebesar 962 volt.

4.4 Batas Tegangan Sentuh

Untuk menghitung batas tegangan sentuh dapat menggunakan persamaan :

$$E_{se} = \left(R_B + \frac{R_f}{2} \right) I_B$$

$$E_{se} = (1000 + 1,5C_s \times \rho_s) I_B$$

$$E_{se} = (1000 + 1,5 \times 0,7 \times 1000) 0,137$$

$$E_{se50} = 280,85 \text{ volt untuk } 50 \text{ kg}$$

$$E_{se70} = 379,25 \text{ volt untuk } 70 \text{ kg}$$

Bagi manusia dengan berat badan 50 kg memiliki batas tegangan sentuh sebesar 280,85 dan untuk 70 kg sebesar 379,25 kg

4.5 Tegangan Langkah Sebenarnya

Tegangan langkah sebenarnya adalah tegangan yang dapat timbul pada sistem pentanahan Gardu Induk 150 kv Semanu saat terjadi arus gangguan. Tegangan langkah sebenarnya dapat dihitung dengan persamaan :

$$E_s = \frac{\rho \times K_s \times K_i \times I_G}{L_s}$$

$$E_s = \frac{32,97 \times 0,65 \times 1,75 \times 1954}{1077}$$

$$E_s = 68,04 \text{ volt}$$

Keterangan :

ρ = hambatan jenis tanah (Ω)

K_s = faktor jarak untuk tegangan langkah

K_i = faktor geometris elektroda mendatar

L_s = panjang konduktor pentanahan (m)

I_G = besar arus gangguan (A)

Tabel 2. Perbandingan tegangna langkah

Berat badan	Batas tegangan langkah	Tegangan langkah sebenarnya
50 kg	712,4 v	68,04 v
70 kg	962 v	

Jika dibandingkan dengan batas tegangan langkah, terlihat bahwa tegangan langkah sebenarnya lebih kecil daripada batas tegangan langkah. Sehingga sistem pentanahan di gardu induk tersebut telah aman terhadap tegangan langkah yang sewaktu-waktu dapat terjadi.

4.6 Tegangan Sentuh Sebenarnya

Tegangan sentuh sebenarnya adalah tegangan sentuh yang terjadi pada sistem pentanahan pada gardu induk tersebut. Persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan sentuh sebenarnya adalah sebagai berikut:

$$E_m = \frac{\rho \times K_m \times K_i \times I_G}{L_M}$$

$$E_m = \frac{32,97 \times 0,319 \times 1,75 \times 1954}{1086,22}$$

$$E_m = 33,1 \text{ volt}$$

Keterangan :

ρ = hambatan jenis tanah (Ω)

K_s = faktor jarak untuk tegangan sentuh

K_i = faktor geometris elektroda mendatar

L_s = panjang konduktor pentanahan (m)

I_G = besar arus gangguan (A)

Tabel 3. Perbandingan tegangan sentuh

Berat badan	Batas tegangan sentuh	Tegangan sentuh sebenarnya
50 kg	280,85 v	33,1 v
70 kg	379,25 v	

Berdasarkan perhitungan di atas ditemukan tegangan sentuh sebesar 33,1 volt yang mana nilainya lebih kecil dibandingkan dengan batas tegangan sentuh, sehingga pentanahan Gardu Induk 150 kv Semanu aman terhadap tegangan sentuh yang mungkin terjadi.

4.7 Arus Maksimum yang Dapat Diamankan

Untuk menemukan nilai arus yang diamankan dapat menggunakan persamaan tegangan sentuh dan langkah sebenarnya dengan menukar nilai tegangan sentuh dan langkah sebenarnya dengan batas tegangan sentuh dan langkah.

$$\frac{E_{Sentuh} \times L_M}{\rho \times K_m \times K_i} = I_G$$

$$\frac{379,25 \times 1086,22}{32,97 \times 0,319 \times 1,75} = I_G$$

$$I_G = 22381,84 \text{ A}$$

Tabel 4. Batas arus maksimum

I _G maksimum sentuh 70kg	22381,84 A
I _G maksimum sentuh 50kg	16574,66 A
I _G maksimum langkah 70kg	27862,66 A
I _G maksimum langkah 50kg	20633,43 A

Agar ketika arus gangguan yang terjadi aman terhadap manusia dengan berat badan 50 kg dan 70 kg maka diambil nilai arus gangguan terkecil dari tabel diatas. Sehingga arus gangguan maksimum yang dapat diamankan adalah 16574,66 A.

4.8 Tegangan Pindah

Sebelum mencari nilai tegangan pindah maka perlu mencari nilai tahanan ekuivalen di Gardu Induk 150 kv Semanu terlebih dahulu dengan persamaan sebagai berikut :

$$R_0 = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

$$R_0 = \frac{32,97}{4 \times 53,26} + \frac{32,97}{1392}$$

$$R_0 = 0,178 \Omega$$

Selanjutnya tegangan pindah dicari dengan rumus :

$$E_{pindah} = I \times R_0$$

$$E_{pindah} = 1954 \times 0,178$$

$$E_{pindah} = 347,81 \text{ volt}$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai tegangan pindah sebesar 347,81. Waktu aman saat terjadi tegangan pindah sebesar itu adalah lebih dari 3 detik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan hasil analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maka didapat beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Batas tegangan langkah yang diizinkan untuk berat badan 50 kg adalah 712,4 volt dan untuk berat badan 70 kg adalah 962 volt. Sedangkan untuk tegangan langkah

sebenarnya sebesar 68,04. Nilai tegangan langkah sebenarnya lebih kecil dibandingkan dengan tegangan langkah yang diizinkan sehingga sistem pentanahan yang ada di Gardu Induk 150 kv Semanu aman untuk tegangan langkah yang mungkin terjadi.

2. Batas tegangan sentuh untuk berat 50 kg adalah sebesar 280,85 volt dan untuk berat badan 70 kg adalah 379,25 volt. Selanjutnya nilai tegangan sentuh sebenarnya hanya 33,1 volt. Berdasarkan perhitungan nilai tegangan sentuh sebenarnya lebih kecil dari batas tegangan sentuh untuk berat badan 50 kg dan 70 kg yang berarti bahwa sistem pentanahan yang ada aman terhadap tegangan sentuh.

3. Sistem pentanahan pada Gardu Induk 150 kv Semanu dapat dinyatakan aman jika arus gangguan yang terjadi tidak melebihi 16574,66 ampere. Jika arus gangguan melebihi itu maka sistem pentanahan yang ada tidak aman bagi manusia yang berada dilokasi tersebut.

4. Kerikil koral pada bagian atas tanah dapat membuat batas tegangan langkah dan tegangan sentuh yang diizinkan menjadi lebih besar. Sehingga manusia yang berada di Gardu Induk 150 kv Semanu lebih aman ketika terjadi arus gangguan.

5. Sistem pentanahan yang ada di Gardu Induk 150 kv Semanu telah memenuhi standar aman menurut IEEE std.80 *Guide for Safety in AC Substation*.

DAFTAR PUSTAKA

- Andesito, Wiratama. 2018. *Evaluasi Keamanan Pada Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 kv Ngawi*. Skripsi Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Aslimeri, dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.

- Hutauhuruk, T.S. 1991. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta : Erlangga
- IEEE Standards Association. 2015. *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. United States of America: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Karuna, Hangga. 2014. *Evaluasi Keamanan Pada Sistem Pentanahan Gardu Induk 150 kv Jajar*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unuversitas Muhammadiyah Surakarta
- Nassereddine, M., Rizk J. and Nasserddine G.2013. *Soil Resistivity Data Comparison; Single and Two – Layer Soil Resistivity Structure and Its Implication on Earthing Design*. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering Vol:7, No:1, 2013*
- Penjelasan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011 ed. 2014*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan
- Pranoto, Agus., Tumaliang, Hans., Mangindaan, Glanny. 2018. *Analisa Sistem Pentanahan Gardu Induk Teling dengan Konstruksi Grid (Kisi-Kisi)*. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Vol. 7, No. 3, Juli-Oktober 2018, ISSN: 2301-8401*
- Rudi, Songgo, Dwi., Anang. *Analisis Sistem Pembumian Berbentuk Jaring (Gird) Pada Gardu Induk 150 Kv, Di Jalan Sunan Derajat Kecamatan Lamongan, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur*. Surabaya: Program Studi Teknik Elektro, Ft, Um-Surabaya
- Septria, Yoga. *Evaluasi Tegangan Sentuh Dan Tegangan Langkah Gardu Induk (GI) 150 kv Kota Baru Akibat Perubahan Resistivitas Tanah*. Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
- Sumardjati, Prih. dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional
- Syahputra, R., (2016), “*Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- Tanjung, Abrar. *Analisis Sistem Pentanahan Gardu Induk Teluk Lembu dengan Bentuk Konstruksi Grid (Kisi-Kisi)*. Pekanbaru: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning.