

PERBANDINGAN KUAT MEDAN LISTRIK DI BAWAH SALURAN TRANSMISI 150 KV ANTARA G.I. T.KUNING DAN G.I. BERASTAGI BERDASARKAN PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE BAYANGAN

Syafril Ramadan, Hendra Zulkarnain

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: syafril.ramadan@yahoo.com

ABSTRAK

Kuat medan listrik yang dihasilkan saluran transmisi dapat menimbulkan dampak yang merugikan terhadap penduduk yang berada di sekitar saluran transmisi tersebut. Pengukuran secara periodik perlu dilakukan untuk melihat apakah kuat medan listrik tersebut masih berada pada ambang batas yang diizinkan. Dalam tulisan ini, dilakukan perbandingan hasil perhitungan kuat medan listrik dengan pengukuran yang telah dilakukan oleh PT PLN P3B Sumatera UPT Medan. Perhitungan dilakukan dengan metode bayangan dan bantuan software MATLAB. Hasil pengukuran dan perhitungan kuat medan untuk beberapa titik tinjau masih di bawah standar ambang batas kuat medan listrik yang diizinkan. Perbedaan rata-rata kuat medan listrik antara perhitungan dan pengukuran adalah sebesar 145 % untuk menara 01-02 dan 21% untuk menara 11-12.

Kata Kunci: kuat medan listrik, metode bayangan, saluran transmisi

1. Pendahuluan

Fungsi utama suatu saluran transmisi adalah untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Untuk mengurangi rugi-rugi daya disepanjang saluran transmisi, maka dipakailah tegangan tinggi. Pemakaian tegangan tinggi ini selain mengurangi rugi-rugi daya, juga menghasilkan medan listrik yang tinggi di sekitar kawat penghantar [1]. Medan listrik yang tinggi di sekitar kawat penghantar menimbulkan dampak merugikan bagi penduduk yang bertempat tinggal di dekat saluran transmisi.

Dalam tulisan ini akan dibahas perhitungan dan pengukuran kuat medan listrik di bawah saluran transmisi 150 kV daerah Medan-Johor antara G.I. (Gardu Induk) Titi Kuning dan G.I.(Gardu Induk) Berastagi antara menara 01-02 yang rapat pemukiman penduduk dan menara 11-12 yang melewati pemukiman dan perkebunan penduduk dengan menggunakan

metode bayangan dan melihat apakah kuat medan listrik tersebut masih berada dalam standar nilai ambang batas kuat medan listrik yang diizinkan.

2. Kuat Medan Listrik dan Metode Bayangan

Gaya antara dua muatan listrik Q_1 dan Q_2 yang sejenis adalah sebanding dengan hasil perkalian kedua muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan tersebut. Dengan menggunakan simbol-simbol besaran, Hukum Coulomb ditulis[2]:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1)$$

Gaya merupakan besaran vektor, oleh sebab itu, gaya memiliki besar dan arah. Jika persamaan (1) ditulis sebagai persamaan vektor, dengan mensubstitusikan nilai k maka diperoleh :

$$\vec{F} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{a}_r \quad (2)$$

Gaya per satuan muatan yang didefinisikan sebagai intensitas medan listrik, yaitu:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_2} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{a}_r \quad (3)$$

Jika di dalam sebuah konduktor mengalir arus listrik, maka di sekitar konduktor tersebut akan muncul medan listrik. Hal ini disebabkan oleh karena arus listrik merupakan aliran muatan listrik. Kuat medan listrik di sekitar konduktor yang dialiri arus dapat dihitung dengan menggunakan rumus [3]:

$$\vec{E} = \frac{\rho}{2\pi\epsilon_0 r} \vec{a}_r \quad (\text{V/m}) \quad (4)$$

di mana:

- r = Jarak konduktor dengan titik P
- \vec{a}_r = Vektor satuan jarak konduktor
- ρ = Kerapatan muatan konduktor (Coulomb/ meter)

Jika dua buah konduktor yang masing-masing bermuatan $-Q$ dan $+Q$, diberi jarak d satu sama lain, maka diantara kedua konduktor tersebut akan muncul medan listrik. Arah medan listrik yang ditimbulkan adalah sama, karena muatan keduanya berlawanan. Munculnya medan listrik ini mengakibatkan munculnya potensial listrik pada masing-masing konduktor.

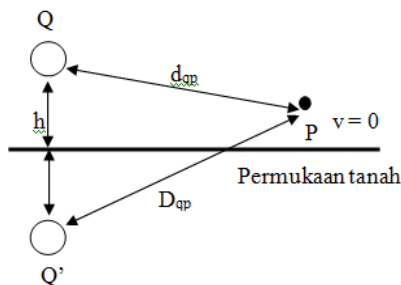
Untuk menghitung potensial listrik yang disebabkan oleh salah satu konduktor di titik P sebagai berikut [4]:

$$V_p = \frac{\rho}{2\pi\epsilon_0} l_n \frac{d}{r} \quad (\text{V}) \quad (5)$$

di mana :

- ρ =Kerapatan muatan konduktor
- D = Jarak antara kedua konduktor
- r = Jari-jari konduktor (m)

Perhitungan dengan metoda bayangan, ditetapkan suatu konfigurasi lengkap yang mencakup konfigurasi awal dan konfigurasi bayangannya [5]. Dalam aplikasinya pada saluran transmisi tenaga listrik, ditetapkan suatu konfigurasi bayangan dari konfigurasi penghantar terhadap tanah. Tanah dianggap sebagai media bertegangan nol volt ($V=0$).



Gambar 1. Penghantar bermuatan di atas tanah dan bayangannya

di mana :

- d_{qp} = Jarak muatan Q dengan titik P
- D_{qp} = Jarak bayangan muatan Q dengan titik P
- h = Tinggi muatan Q dari permukaan tanah
- Q = Muatan suatu konduktor
- Q' = Muatan bayangan suatu konduktor
- P = Titik tinjau

Untuk saluran transmisi dengan jumlah konduktor n, potensial listrik dari masing-masing konduktornya adalah sebagai berikut [5]:

$$V_1 = \frac{\rho_1}{2\pi\epsilon_0} l_n \frac{2H_1}{r_1} + \frac{\rho_2}{2\pi\epsilon_0} l_n \left(\frac{D_{12}}{d_{12}} \right) + \dots + \frac{\rho_n}{2\pi\epsilon_0} l_n \left(\frac{D_{1n}}{d_{1n}} \right)$$

$$\vdots$$

$$V_n = \frac{\rho_1}{2\pi\epsilon_0} l_n \frac{D_{1n}}{d_{1n}} + \frac{\rho_2}{2\pi\epsilon_0} l_n \left(\frac{D_{2n}}{d_{2n}} \right) + \dots + \frac{\rho_n}{2\pi\epsilon_0} l_n \frac{2H_n}{r_n}$$

dalam matriks dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_n \frac{2H_1}{r_1} & \dots & l_n \left(\frac{D_{1n}}{d_{1n}} \right) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ l_n \frac{D_{1n}}{d_{1n}} & \dots & l_n \frac{2H_n}{r_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\rho_1}{2\pi\epsilon_0} \\ \vdots \\ \frac{\rho_n}{2\pi\epsilon_0} \end{bmatrix}$$

atau dapat juga disingkat sebagai berikut:

$$[V]_n = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} [P]_{nn} [\rho]_n \quad (\text{kV}) \quad (6)$$

di mana :

- ρ = Kerapatan muatan konduktor
- n = Jumlah konduktor
- H = Jarak konduktor dari permukaan tanah
- D = Jarak konduktor dengan bayangan konduktor lain
- d = Jarak konduktor dengan konduktor lain
- V_1 = Potensial listrik pada konduktor 1
- V_n = Potensial listrik pada konduktor n

Pada saluran transmisi, potensial listrik V dari konduktor sudah ditentukan pada nilai tertentu. Oleh karena itu, Persamaan (6) pada pembahasan sebelumnya digunakan untuk mendapatkan kerapatan muatan ρ dari masing-masing konduktor saluran transmisi. Dalam hal ini, Persamaan (6) dapat dirubah menjadi:

$$[\rho]_n = 2\pi\epsilon_0 [P]_{nn}^{-1} [V]_n \quad (\text{C/m})$$

Untuk konduktor i, kuat medan listriknya terhadap titik P dapat dituliskan sebagai berikut [6]:

$$\vec{E}_{pi} = \frac{\rho_i}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{(x_p - x_i)\vec{a}_x + (y_p - y_i)\vec{a}_y}{r_i^2} \right] \quad (\text{V/m})$$

sedangkan untuk bayangan konduktor i, medan listriknya terhadap titik P dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\vec{E}_{pii} = \frac{\rho_i}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{-(x_p - x_i)\vec{a}_x - (y_p + y_i)\vec{a}_y}{r_{ii}^2} \right] \quad (\text{V/m})$$

sehingga kuat medan listrik total di titik P, untuk jumlah konduktor n, dapat dituliskan seperti berikut:

$$\vec{E}_p = \sum_{i=1}^n [\vec{E}_{pi} + \vec{E}_{pii}] \quad (\text{kV/m})$$

di mana :

- λ_i = Kerapatan muatan konduktor i
- x_p, y_p = Koordinat titik P
- x_i, y_i = Koordinat konduktor i
- a_x, a_y = Vektor satuan arah sumbu x dan y
- r_i = Jarak antara konduktor i dengan titik P

$$= \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p - y_i)^2}$$

- r_{ii} = Jarak antara bayangan konduktor i dengan titik P

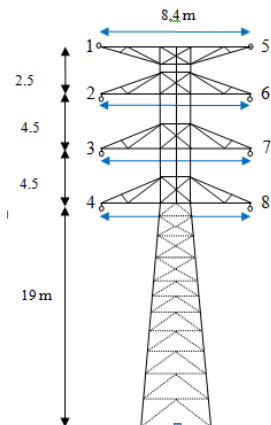
$$= \sqrt{(x_p - x_i)^2 + (y_p + y_i)^2}$$

3. Perhitungan Kuat Medan Listrik di Bawah Saluran Transmisi 150 kV

Sebelum menghitung kuat medan listrik di bawah saluran transmisi pada transmisi 150 kV antara G.I. T.Kuning dan G.I. Berastagi, perlu diketahui terlebih dahulu beberapa informasi tentang transmisi 150 kV antara G.I. T.Kuning dan G.I. Berastagi.

a. Menara Transmisi

Konstruksi menara transmisi 150 kV antara GI.T.Kuning dan GI. Berastagi dapat dilihat dari Gambar 2.



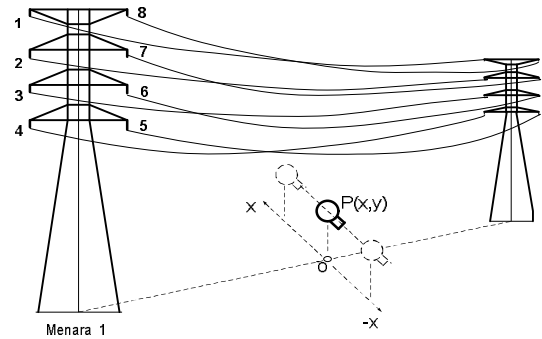
Gambar 2. Konstruksi menara transmisi antara GI T.Kuning dan GI. Berastagi

b. Konduktor

- Tipe menara : Saluran ganda
- Konduktor Fasa : 1x240 mm² ACSR
- GMR : 0.0289 ft (0.0088 m)
- Konduktor Tanah : 1 x 50 mm² GSW
- Diameter : 0.0262 ft (0.008 m)
- Andongan : 3.5 m

Untuk menghitung besar kuat medan listrik pada titik setinggi x meter dari permukaan tanah

dan ditengah-tengah saluran transmisi, maka menara transmisi harus diambil sebagai sumbu acuan, seperti dalam Gambar 3. berikut:



Gambar 3. Sumbu menara menjadi sumber acuan untuk menghitung kuat medan listrik

Perhitungan kuat medan listrik di bawah saluran transmisi untuk sembarang koordinat titik P dilakukan dengan bantuan software Matlab dengan menggunakan rumus dan data-data yang sudah diberikan pada bagian sebelumnya. Kuat medan listrik dihitung berdasarkan koordinat titik pengukuran yang diambil oleh PT. PLN P3B Sumatera UPT Medan sehingga dapat dibandingkan antara hasil perhitungan dan pengukuran. Koordinat pengukuran dinyatakan dengan (Xp;Yp). Xp untuk arah sumbu horizontal dan Yp untuk arah vertikal atau tinggi titik tinjau dari permukaan tanah, dimana nilai Yp selalu tetap (1,4 meter). Dengan sumbu menara sebagai acuan, Xp bernilai positif untuk titik pengukuran bergeser ke kanan dan Xp bernilai negatif untuk titik pengukuran bergeser ke kiri. Dengan memasukkan koordinat-koordinat tersebut ke dalam program yang telah dibuat maka kuat medan listrik antara menara 01-02 dapat dilihat pada Tabel 1. dan menara 11-12 pada Tabel 2. berikut:

Tabel 1. Kuat medan listrik berdasarkan perhitungan antara menara 01-02

No	Koordinat Titik Tinjau (m)		E (KV/m)	Koordinat Titik Tinjau (m)		E (KV/m)
	Xp	Yp		Xp	Yp	
1	0	1,4	1,77	0	1,4	1,77
2	2	1,4	1,79	-2	1,4	1,71
3	4	1,4	1,78	-4	1,4	1,63
4	6	1,4	1,76	-6	1,4	1,51
5	8	1,4	1,72	-8	1,4	1,36
6	10	1,4	1,7	-10	1,4	1,21
7	12	1,4	1,69	-12	1,4	1,05
8	14	1,4	1,7	-14	1,4	0,9
9	16	1,4	1,73	-16	1,4	0,77
10	18	1,4	1,76	-18	1,4	0,65

Tabel 2. Kuat medan listrik berdasarkan perhitungan antara menara 11-12

No	Koordinat Titik Tinjau (m)		E (KV/m)	Koordinat Titik Tinjau (m)		E (KV/m)
	Xp	Yp		Xp	Xp	
1	0	1,4	1,4	0	1,4	1,4
2	2	1,4	1,38	-2	1,4	1,38
3	4	1,4	1,31	-4	1,4	1,31
4	6	1,4	1,2	-6	1,4	1,2
5	8	1,4	1,1	-8	1,4	1,1
6	10	1,4	0,92	-10	1,4	0,92
7	12	1,4	0,76	-12	1,4	0,76
8	14	1,4	0,62	-14	1,4	0,62
9	16	1,4	0,49	-16	1,4	0,49
10	18	1,4	0,37	-18	1,4	0,37

4. Perbandingan dan Analisis

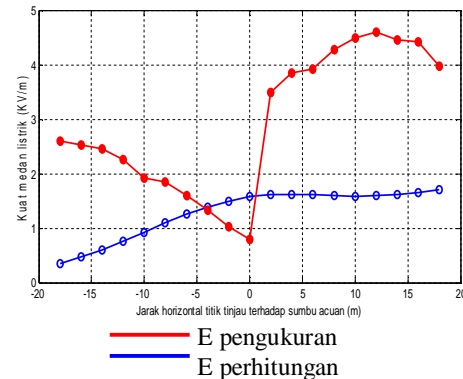
Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran yang telah dilakukan oleh PT PLN P3B Sumatera Medan, terdapat perbedaan besar kuat medan listrik di beberapa titik tinjau. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. untuk menara 01-02 dan Tabel 4. untuk menara 11-12.

Tabel 3. Perbandingan hasil perhitungan dan pengukuran kuat medan listrik menara 01-02

No	(Xp;Yp)	E ₁	E ₂	ΔE	ΔE (%)
1	(0; 1,4)	1,77	2,6	0,83	145
2	(2; 1,4)	1,79	2,52	0,73	
3	(4; 1,4)	1,78	2,45	0,67	
4	(6; 1,4)	1,76	2,26	0,5	
5	(8; 1,4)	1,72	1,92	0,2	
6	(10; 1,4)	1,7	1,85	0,15	
7	(12; 1,4)	1,69	1,595	-0,095	
8	(14; 1,4)	1,7	1,322	-0,378	
9	(16; 1,4)	1,73	1,035	-0,695	
10	(18; 1,4)	1,76	0,795	-0,965	
11	(0; 1,4)	1,77	3,02	1,25	
12	(-2; 1,4)	1,71	3,5	1,79	
13	(-4; 1,4)	1,63	3,85	2,22	
14	(-6; 1,4)	1,51	3,92	2,41	
15	(-8; 1,4)	1,36	4,28	2,92	
16	(-10; 1,4)	1,21	4,5	3,29	
17	(-12; 1,4)	1,05	4,6	3,55	
18	(-14; 1,4)	0,9	4,46	3,56	
19	(-16; 1,4)	0,77	4,42	3,65	
20	(-18; 1,4)	0,65	3,98	3,33	

E₁ = Kuat Medanlistrik berdasarkan perhitungan
 E₂ = Kuat Medan listrik berdasarkan pengukuran

Berdasarkan Tabel 3 di atas, perbedaan rata-rata kuat medan listrik antara perhitungan dan pengukuran untuk menara 01-02 yang rapat pemukiman penduduk dan terdapat gedung-gedung tinggi adalah sebesar 145 %, hal ini menunjukkan bahwa terjadi perbedaan yang signifikan antara perhitungan dan pengukuran. Secara grafik dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:



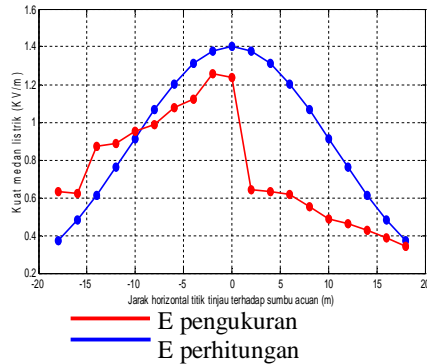
Gambar 4. Grafik perbandingan kuat medan listrik berdasarkan perhitungan dan pengukuran menara 01-02

Tabel 4. Perbandingan hasil perhitungan dan pengukuran kuat medan listrik menara 11-12

No	(Xp;Yp)	E ₁	E ₂	ΔE	ΔE (%)
1	(0; 1,4)	1,4	0,635	0,765	21
2	(2; 1,4)	1,38	0,622	0,758	
3	(4; 1,4)	1,31	0,875	0,435	
4	(6; 1,4)	1,2	0,888	0,312	
5	(8; 1,4)	1,1	0,955	0,145	
6	(10; 1,4)	0,92	0,988	-0,068	
7	(12; 1,4)	0,76	1,077	-0,317	
8	(14; 1,4)	0,62	1,125	-0,505	
9	(16; 1,4)	0,49	1,26	-0,77	
10	(18; 1,4)	0,37	1,24	-0,87	
11	(0; 1,4)	1,4	0,658	0,742	
12	(-2; 1,4)	1,38	0,645	0,735	
13	(-4; 1,4)	1,31	0,633	0,677	
14	(-6; 1,4)	1,2	0,618	0,582	
15	(-8; 1,4)	1,1	0,552	0,548	
16	(-10; 1,4)	0,92	0,488	0,432	
17	(-12; 1,4)	0,76	0,465	0,295	
18	(-14; 1,4)	0,62	0,428	0,192	
19	(-16; 1,4)	0,49	0,388	0,102	
20	(-18; 1,4)	0,37	0,342	0,028	

Berdasarkan Tabel 4 di atas, perbedaan rata-rata kuat medan listrik antara perhitungan

dan pengukuran untuk menara 11-12 yang terdapat pemukiman dan perkebunan penduduk adalah sebesar 21%. hal ini menunjukkan bahwa perbedaan rata-rata kuat medan listrik antara perhitungan dan pengukuran untuk menara 01-02 jauh lebih besar daripada menara 11-12. Secara grafik dapat dilihat pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5. Grafik perbandingan kuat medan listrik berdasarkan perhitungan dan pengukuran menara 11-22

Perbedaan yang terjadi antara hasil perhitungan dan pengukuran disebabkan oleh beberapa faktor. Adapun faktor-faktor yang diperkirakan dapat menyebabkan terjadinya perbedaan hasil perhitungan dan pengukuran kuat medan listrik tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Jarak konduktor terhadap konduktor lain akibat adanya andongan.

Akibat adanya andongan menyebabkan jarak setiap konduktor di sepanjang saluran transmisi tidak tetap, namun dalam perhitungan jarak setiap konduktor di sepanjang saluran transmisi selalu sama.

- b. Kerataan permukaan tanah

Dalam penggunaan metode bayangan kerataan permukaan tanah dapat mempengaruhi hasil perhitungan karena mempengaruhi tinggi konduktor dan jarak antara konduktor dengan bayangan konduktor tersebut.

- c. Pengaruh bangunan, pepohonan dan benda lainnya yang ada di sekitar menara transmisi.

Dalam perhitungan kuat medan listrik pengaruh bangunan, pepohonan dan benda lainnya yang ada di sekitar menara transmisi tidak diperhitungkan.

- d. Permittivitas udara

Permittivitas udara di sekitar konduktor transmisi berubah-ubah, hal ini disebabkan oleh adanya debu dan partikel-partikel kecil lain yang ada di udara. Namun dalam Tugas Akhir ini permittivitas tersebut dianggap konstan yaitu $8,854 \times 10^{-12}$ F/m.

- e. Ketelitian alat ukur kuat medan listrik

Alat ukur yang digunakan oleh PT PLN P3B Sumatera UPT Medan dalam mengukur kuat medan listrik Medan-Johor adalah Holaday EMF HI-3604, dimana alat ukur ini diperoleh oleh PT PLN P3B Sumatera UPT Medan pada tahun 2000 dan pada saat pengukuran, alat ukur tersebut dalam keadaan belum pernah dikalibrasi sejak tahun diperoleh pada tahun 2000. Hal ini dapat mempengaruhi hasil pengukuran kuat medan listrik.

- f. Titik terendah dan titik tengah saluran transmisi

Akibat adanya andongan, titik terendah saluran transmisi berada di tengah-tengah saluran transmisi tersebut. Kesalahan dalam penentuan titik terendah saluran transmisi menyebabkan kesalahan dalam pengukuran kuat medan listrik.

- g. Koordinat titik ukur

Koordinat titik ukur menjadi hal terpenting dalam pengukuran kuat medan listrik. Koordinat titik ukur ditentukan sebelum melakukan pengukuran.

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh setelah melakukan penelitian ini adalah:

1. Besar kuat medan listrik di titik tinjau masih di bawah standar nilai ambang batas kuat medan listrik yang diizinkan.(5 kV/m menurut SNI 04-6950-2003)
2. Perbedaan rata-rata kuat medan listrik antara perhitungan dan pengukuran adalah sebesar 145 % untuk menara 01-02 dan 21% untuk menara 11-12.
3. Terdapat beberapa faktor yang diperkirakan menjadi penyebab terjadinya perbedaan perhitungan dan pengukuran kuat medan listrik

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ali Zumar (alm) dan Surnaini selaku orang tua penulis, Ir. Hendra Zulkarnain selaku dosen pembimbing, juga Ir. Zulkarnaen Pane dan Ir. Syahrawardi selaku dosen penguji penulis yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan paper ini, serta teman-teman penulis yang sudah memberikan dukungan selama pembuatan paper ini.

7. Daftar Pustaka

- [1] Tobing, Bonggas L., 2003, "Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi," Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- [2] Effendi Rustam; Slamet Syamsudin; Wilson S. Sinambela; Soemarto, 2007," Medan Elektromagnetika Terapan," Jakarta: Erlangga
- [3] Jr., William H. Hayt; John A. Buck, 2006, "Elektromagnetika", Edisi ketujuh, Diterjemahkan oleh: Irzam Harmein, ST., Jakarta: Erlangga.
- [4] Begamudre, Rakosh Das, 2006, "Extra High Voltage AC Transmission Engineering," Third Edition, New Delhi: New Age International Publisher.
- [5] Sutanto, Jusmin; Achmad Mudawari; Syafrudin," Pemetaan Bidang Ekipotensial SUTET Hantaran Tunggal 500kV di sekitar Permukaan Tanah, Politeknik Negeri Bandung, Universitas Tanjung Pura Pontianak.
- [6] Juswan, Alexander, 2003, "Studi Perhitungan Kuat Medan Listrik dan Medan Magnet di bawah Saluran Transmisi 150 KV," Surabaya: Universitas Kristen Petra