

Evaluasi Desain Jarak Bebas Minimum Vertikal dari Konduktor Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 275 kV PLTA Poso II-Palopo-Pomalaa

Yusran

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar
email: yusranibnu@yahoo.com, yusran@unhas.ac.id

Abstrak – SUTET 275 kV PLTA Poso II-Palopo Pomalaa rencananya dibangun untuk menyalurkan daya sebesar 192 MW ke Gardu Induk di Palopo dan Pomalaa. Salahsatu aspek pemakaian tegangan 275 kV yang relatif baru yang perlu dikaji adalah jarak bebas minimum vertikal dari konduktor. Metode penelitian didasarkan pada perhitungan besar medan elektromagnetik dan komparasi antara desain dan standar yang ada. Kuat medan listrik hasil perhitungan sebesar 0,0217 kV/m – 19,1866 kV/m dengan koordinat (0,24) sebagai koordinat terdekat dari tanah dengan paparan melebihi 5 kV/m. Kuat medan magnet sebesar 0,0850 sampai dengan 82,25 mikro Tesla dengan tidak ada satu pun titik koordinat yang melebihi paparan 100 mikro Tesla. Desain jarak bebas minimum vertikal dari konduktor sudah memperhatikan besar paparan medan elektromagnet akan tetapi desain tersebut masih harus menyesuaikan dengan standar yang ada yaitu SNI 04-6918-2002.

Kata Kunci: Jarak bebas minimum vertikal, SUTET 275 kV

Kabupaten Kolaka di Provinsi Sulawesi Tenggara [1]. Jumlah masyarakat yang akan dilewati oleh jalur SUTET ini relatif sedikit akan tetap di masa mendatang terdapat kemungkinan jumlahnya akan semakin bertambah

Keberadaan SUTET ini tentunya sangat penting untuk menyalurkan daya listrik yang tentunya mempunyai hubungan terhadap perkembangan ekonomi daerah/regional dan juga kesejahteraan masyarakat namun di sisi lain keberadaannya juga mengandung kemungkinan dampak terhadap masyarakat yang bermukim di bawah saluran tersebut.

Salahsatu hal yang harus mendapatkan perhatian khusus terkait dengan SUTET ini adalah desain jarak bebas minimum vertikal dari konduktor terhadap suatu obyek tertentu yang bisa berupa lapangan terbuka, daerah pertanian, pemukiman dan lain sebagainya. Jarak bebas minimum ini harus memperhatikan besar paparan medan elektromagnetik yang timbul pada saat pengoperasian nantinya dan juga dikomparasikan dengan standar yang ada sehingga dibutuhkan evaluasi terhadap desain yang sudah ada.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik menunjukkan kecenderungan yang meningkat setiap tahunnya. Hal tersebut diindikasikan dengan angka pertumbuhan per tahun yang cenderung bertambah. Hal ini tentu saja harus diantisipasi dengan pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan seperti pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi daya listrik, sistem distribusi primer serta sistem distribusi sekunder yang memadai.

Salahsatu infrastruktur ketenagalistrikan yang akan dibangun adalah PLTA Poso II di desa Sulewana, Kabupaten Poso, Sulawesi Tengah yang direncanakan membangkitkan daya sebesar 192 MW. Daya yang dibangkitkan tersebut rencananya akan disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) bertegangan 275 kV dengan rute PLTA Poso II-Palopo-Pomalaa. SUTET 275 kV PLTA Poso II-Palopo-Pomalaa akan melintasi daerah pemukiman dan daerah yang dekat pemukiman di beberapa titik di 7 kabupaten di 3 Provinsi yaitu Provinsi Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara. Kabupaten tersebut adalah Kabupaten Poso di Provinsi Sulawesi Tengah, Kabupaten Luwu Timur, Kabupaten Luwu Utara, Kabupaten Luwu dan Kota Palopo di Provinsi Sulawesi Selatan. Kabupaten Kolaka Utara dan

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Medan elektromagnetik

Pengoperasian SUTET akan membangkitkan medan elektromagnetik berupa medan listrik yang dinyatakan dalam satuan kV/m dan medan magnet yang dinyatakan dalam satuan Tesla [2].

Kriteria yang dipakai dalam penentuan batas pajanan adalah rapat arus yang diinduksi dalam tubuh. Karena arus induksi dalam tubuh tidak dapat dengan mudah diukur secara langsung maka penentuan batas pajanan diturunkan dari nilai kriteria arus induksi dalam tubuh berupa kuat medan listrik (E) dan rapat fluks magnetik (B). Sebagai contoh, suatu medan listrik sebesar 10 kV/m akan menginduksi rapat arus efektif sekitar 4 mA/m² dengan rata-rata pengaliran arus di seluruh daerah kepala atau batang tubuh manusia. Suatu rapat fluks magnetik sebesar 0,5 mT pada frekuensi 50/60 Hz akan menginduksi rapat arus efektif sekitar 1 mA/m² pada sekeliling loop jaringan tubuh yang berjari 10 cm [3].

Adapun batas medan listrik dan medan magnet yang dapat diterima oleh manusia diperlihatkan pada tabel 1 berikut [4].

Tabel 1. Batas Medan Listrik dan Medan Magnet yang Dapat Diterima Manusia Berdasarkan SNI 04-6950-2003

Klasifikasi	Medan Listrik (kV/m)	Medan Magnet (mT)	Keterangan
Lingkungan kerja : Sepanjang Hari Kerja	10	0,5	a) lama pajanan antara 10 s/d 30 kV/m dapat dihitung dengan rumus $t < 80/E$ (t=lama pajanan (jam), E = kuat medan listrik kV/m
Waktu Singkat	30 ^{a)}	5 ^{b)}	b) lama pajanan maksimum/hari 2 jam
Anggota Tubuh	-	25	c) untuk ruang terbuka,tempat rekreasi, lapangan dan sebagainya
Lingkungan umum: Sampai 24 jam/hari ^{c)}	5	0,1	d) batas pajanan dapat dilampaui beberapa menit/hari dengan syarat dicegah efek gandang tak langsung
Beberapa jam/hari	10	1	

2.1.1 Medan listrik

Charles Coulomb menyatakan bahwa gaya antara dua benda yang sangat kecil dalam ruang hampa yang terpisah pada jarak yang besar dibandingkan dengan ukurannya berbanding lurus dengan muatan masing-masing benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak kuadrat

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

Keterangan :

Q1 dan Q2 merupakan besaran muatan (C)

F adalah gaya antara 2 muatan Q1 dan Q2

$$k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} = 8,854 \cdot 10^{-12}$$

Dari rumus ini kemudian berkembanglah analisa-analisa lebih lanjut yang menghasilkan banyak sekali konsep-konsep yang dapat menjelaskan berbagai gejala kelistrikan, seperti halnya kuat medan listrik atau intensitas medan listrik yang memudahkan analisis mengenai gaya yang bertumpu akibat adanya interaksi antara suatu muatan dan suatu muatan uji. Gaya tersebut dirumuskan dengan persamaan intensitas kuat medan listrik :

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot R^2} \vec{a}_r \quad V/m \quad (2)$$

Keterangan :

E = intensitas kuat medan listrik (V/m)

$$\epsilon = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

\vec{a}_r = vektor satuan dari medan Listrik.

Selain untuk keperluan analisis dalam bidang kelistrikan, intensitas medan listrik berguna pula untuk diketahui sehubungan dengan hadirnya medan ini di tengah-tengah manusia.

Dengan menggunakan persamaan (2) sebagai persamaan dasar, maka setelah rumus ini ditinjau terhadap suatu muatan yang berada pada suatu kawat, didapatkan suatu rumusan yang lebih sederhana sbb :

$$E = \frac{\rho_l}{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot R} \quad V/m \quad (3)$$

Sedangkan besar ρ_l dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$\rho_l = C \cdot V \quad C/m \quad (4)$$

Keterangan :

ρ_l = besar muatan (C/m)

C = kapasitansi saluran transmisi (Farad/meter)

V = tegangan (Volt)

Besar dari kuantitas medan listrik saluran transmisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) dengan menyederhanakan suku $\frac{\vec{a}_r}{R}$

menjadi $\frac{X + Y + Z}{X^2 + Y^2 + Z^2}$ dengan x,y dan z masing-masing menyatakan koordinat titik yang ditinjau intensitas medan listriknya.

Jika jalur saluran transmisi dianggap hanya memiliki satu arah tertentu saja, misalnya arah y, maka arah R dapat dipandang hanya memiliki dua identitas vektor saja yakni pada arah x dan z. Dengan demikian maka persamaan medan listrik menjadi :

$$E = \frac{\rho_l}{2\pi \epsilon_0} \left\{ \frac{X + Y + Z}{X^2 + Y^2 + Z^2} \right\} \quad V/m \quad (5)$$

Bila kedua obyek yang menghasilkan jarak R adalah penghantar dan titik yang ditinjau, maka jarak R dapat ditentukan dengan rumus Pythagoras bila jarak penghantar dan titik tersebut diketahui.

Dengan menetapkan suatu titik sebagai titik nol referensi dan menyimbolkan jarak horisontal penghantar n dan jarak horisontal titik yang ditinjau (titik P) masing-masing sebagai X_n dan X titik serta yang ditinjau kuat medan listriknya serta jarak vertikal penghantar n dan jarak vertikal titik yang ditinjau masing-masing sebagai Z_n dan Z, maka medan listrik pada titik P akibat penghantar n dan bayangannya dapat ditulis:

$$E_n = \frac{Q_n}{2\pi \cdot \epsilon} \left\{ \frac{(X_n - X_N) + (Z_n - Z_N)}{(X_n - X_N)^2 + (Z_n - Z_N)^2} \right\} \quad (6)$$

$$- \frac{Q_n}{2\pi \cdot \epsilon} \left\{ \frac{(X_n - X_N) + (Z_n + Z_N)}{(X_n - X_N)^2 + (Z_n + Z_N)^2} \right\} \quad V/m$$

Keterangan:

X_n = jarak searah sumbu horisontal penghantar n dari titik nol (m)

Z_n = arak searah sumbu vertikal penghantar dari titik nol (m)

X_N = arak searah sumbu horisontal titik P dari titik nol (m)

Z_N = arak searah sumbu vertikal titik P dari titik nol (m)

$\epsilon = \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m (karena $\epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_r$ dan ϵ_r (permitivitas udara) = 1)

2.1.2 Medan magnet

Medan magnet telah didefinisikan dengan suatu persamaan yang dikenal dengan Hukum Biot-Savart. Persamaan tersebut adalah:

$$dH = \frac{Idl \times \vec{a}_r}{4\pi r^2} = \frac{Idl}{4\pi} A/m \quad (7)$$

Keterangan :

dH = unsur diferensial medan magnet (A/m)

I = arus (A)

dL = unsur diferensial panjang material yang dialiri arus (m)

\vec{a}_r = arah vektoris dari medan magnet

Kadang-kadang persamaan tersebut disebut hukum integral Ampere yang dituliskan :

$$\oint H \cdot dL = I \quad A/m \quad (8)$$

Keterangan :

dL = unsur differensial dari penghantar (m)

H = medan magnet di sekitar penghantar dalam lintasan tertutup (A/m)

I = arus yang melalui penghantar (A)

Kerapatan medan magnet merupakan peninjauan medan magnet dari segi garis-garis fluks (Φ) yang menembus suatu luasan tertentu seperti pada gambar 2.4 di bawah ini dan dirumuskan :

$$B = \Phi / A \quad \text{Tesla} \quad (9)$$

Keterangan :

B = kerapatan medan magnet (Tesla)

A = luas daerah yang ditembus oleh medan magnet

Pada ruang bebas yang memiliki permeabilitas μ_0 maka hubungan kerapatan medan magnet dan intensitas medan magnet adalah :

$$B = \mu_0 \cdot H \quad \text{Tesla} \quad (10)$$

Keterangan :

μ_0 adalah permeabilitas ruang bebas

H adalah intensitas medan magnet

Untuk perhitungan kuat medan magnet pada saluran transmisi terhadap suatu titik tertentu, maka lintasannya akan mempunyai sebuah jari-jari (ρ), dan Hukum integral ampere menjadi :

$$\oint H \cdot dL = \int_0^{2\pi} H_{\theta} \rho d\theta = H_{\theta} \rho \int_0^{2\pi} d\theta = H_{\theta} 2\pi\rho = I A \quad (11)$$

Atau

$$H_{\theta} = \frac{I}{2\pi} \frac{1}{\rho} \quad A/m \quad (12)$$

Keterangan :

ρ = jarak(jari-jari) sumber medan magnet ke suatu titik tertentu

\vec{a}_{θ} = vektor satuan medan magnet yang menunjukkan bahwa medan H_{θ} berada disekeliling titik tertentu tersebut dengan lintasan yang berbentuk lingkaran

Adapun kerapatan medan magnet (B) dari saluran transmisi dapat dicari seperti pada persamaan (12) dimana $\mu = \mu_0$, sebab $\mu = \mu_r \times \mu_0$ dan μ_r untuk udara adalah 1. Sehingga :

$$B = \mu_0 \cdot H \quad \text{Tesla} \quad (13)$$

2.2. Jarak bebas minimum vertikal dari konduktor

Jarak bebas minimum vertikal dari konduktor berdasarkan SNI 04-6918-2002 diperlihatkan pada tabel 2 [4]. Desain untuk 275 kV pada tabel 3 [1].

Tabel 2. Jarak Bebas Minimum Vertikal dari Konduktor berdasarkan SNI 04-6918-2002 tentang Ruang Bebas dan Jarak Minimum pada SUTT dan SUTET

No	Lokasi	SUTT		SUTET	
		66 kV	150 kV	275 kV	500 kV
1	Lapangan terbuka atau daerah terbuka ^{a)}	7,5	8,5	10,5	12,5
2	Daerah dengan keadaan tertentu :				
2.1	Bangunan, jembatan ^{b)}	4,5	5,0	7,0	9,0
2.2	Tanaman/tumbuhan, hutan, perkebunan ^{b)}	4,5	5,0	7,0	9,0
2.3	Jalan/jalan raya/rel kereta api ^{a)}	8,0	9,0	11,0	15,0
2.4	Lapangan umum ^{a)}	12,5	13,5	15,0	18,0
2.5	SUTT lain, Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR), Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Saluran Udara Komunikasi, Antena dan Kereta Gantung ^{b)}	3,0	4,0	5,0	8,5
2.6	Titik tertinggi tiang kapal pada kedudukan air terpasang/tertinggi pada lalu lintas air	3,0	4,0	6,0	8,5

Catatan

a) Jarak bebas minimum vertikal dihitung dari permukaan bumi atau permukaan jalan/rel

b) Jarak bebas minimum vertikal dihitung sampai titik tertinggi/terdekatnya

Tabel 3 Ruang Aman dan Jarak Bebas Minimum SUTET 275 kV

No	Lokasi	Jarak (m)
1	Permukaan normal (lapangan terbuka)	8,0
2	Lahan pertanian (dengan aktifitas harian)	9,0
3	Perumahan-Area Pemukiman	13,0
4	Melintasi Jalan Raya	9,0
5	Melintasi Rel	9,0
6	Bangunan, struktur dan dinding dimana kemungkinan seseorang berdiri	6,0
7	Hutan	6,5
8	Saluran Transmisi, konduktor terbawah saluran 275 kV dengan konduktor paling atas dari saluran tersebut	4,5

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai medan listrik dan medan magnet hasil perhitungan untuk beberapa titik koordinat diperlihatkan pada tabel 4 dan 5 berikut.

Tabel 4. Besar Medan Listrik untuk Beberapa Titik Koordinat (kV/m)

X (m)	-10	-5	0	5	10
Z (m)					
24	2.5351	3.5547	5.4328	3.5547	2.5351
26	3.8251	4.4850	6.7636	4.4850	3.8251
28	6.8493	7.3488	7.1943	7.3488	6.8493
30	9.0194	14.9929	6.3321	14.9929	9.0194
32	8.0084	14.0788	5.2134	14.0788	8.0084
34	8.2886	9.3588	5.9095	9.3588	8.2886
36	4.7297	7.0874	4.1832	7.0874	4.7297
38	5.4649	14.7514	1.8221	14.7514	5.4649
40	6.9757	15.6065	3.3079	15.6065	6.9757
42	6.7447	6.8625	5.6058	6.8625	6.7447
44	4.6807	10.6898	4.9116	10.6898	4.6807

Tabel 5. Besar Medan Magnet untuk Beberapa Titik Koordinat (μ T)

X (m)	-2	-1	0	1	2
Z (m)					
24	2.9663	2.3829	1.9561	1.8097	2.0262
26	3.5905	2.3573	1.1863	0.2349	1.3224
28	5.9215	4.3669	3.3403	3.0480	3.7769
30	10.0250	8.3719	7.5414	7.5181	8.4526
32	13.6547	11.9671	1.0366	10.8489	11.489
34	15.9918	13.9455	12.4764	11.5354	11.1569
36	17.3363	14.6255	12.4371	10.4861	8.5109
38	17.434	14.7377	12.5723	10.6767	8.8304
40	16.308	14.2132	12.7384	11.8523	11.5961
42	14.1366	12.2060	11.1570	10.9589	11.6962
44	10.3937	8.3429	7.2827	7.1766	8.1927

Kuat medan listrik di sekitar SUTET 275 kV PLTA Poso II - Palopo – Pomalaa berdasarkan hasil perhitungan bervariasi nilainya, yakni berkisar diantara nilai 0,0217 kV/m – 19,1866 kV/m pada daerah dalam ruang dengan jarak 60 m (kanan dan

kiri) dan ketinggian 44 m dari titik nol referensi saluran. Beberapa titik koordinat dalam ruang ini memiliki paparan medan listrik di atas nilai ambang batas paparan medan listrik menurut WHO/SNI yaitu sebesar 5 kV/m. Koordinat terdekat dari tanah dengan paparan melebihi 5 kV/m adalah pada (0, 24) artinya setelah melewati ketinggian 24 meter terhitung dari permukaan tanah tepat pada sumbu saluran, medan listrik yang timbul sudah melewati nilai ambang yang ditetapkan. Akan tetapi pada ketinggian yang sama tadi yaitu 24 meter, pada koordinat (5, 24) dan (-5, 24) medan listrik yang timbul sebesar 3,55 kV/m atau belum melampaui nilai batas ambang yang ditetapkan.

Kuat Medan magnet dari hasil perhitungan bervariasi besarnya dari 0,0850 sampai dengan 82,25 mikro Tesla pada daerah dalam ruang dengan jarak 10 m dan ketinggian 44 m dari titik nol referensi saluran. Nilai medan magnet tertinggi didapatkan pada koordinat (-6, 44). Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa medan magnet yang dihasilkan oleh SUTET 275 kV ini masih berada di bawah nilai batas ambang yang ditetapkan sebesar 0,1 Tesla atau 100 mikro Tesla.

Berdasarkan paparan di atas maka secara teoritis desain SUTET 275 kV ini harus memiliki jarak bebas minimum vertikal sebesar 24 meter dari permukaan tanah bila diasumsikan manusia hadir di bawahnya. Desain yang ada sudah memenuhi karena ketinggian konduktor paling bawah dari tanah sebesar 31 meter. Bila memperhitungkan andongan maksimal sebesar 6 meter maka hal ini pun masih belum melewati batas teoritis 24 meter.

Untuk beberapa lokasi dengan keadaan tertentu, desain yang ada diharapkan menyesuaikan dengan standar yang berlaku misalnya bila melewati perumahan-area pemukiman maka desain yang ada harus disesuaikan dari jarak bebas minimum sebesar 13,0 meter menjadi 15,0 meter.

4. KESIMPULAN

1. Kuat medan listrik SUTET 275 kV PLTA Poso II - Palopo – Pomalaa berdasarkan hasil perhitungan yaitu 0,0217 kV/m – 19,1866 kV/m. Koordinat terdekat dari tanah dengan paparan melebihi 5 kV/m adalah pada (0, 24).
2. Kuat medan magnet SUTET 275 kV PLTA Poso II - Palopo – Pomalaa berdasarkan hasil perhitungan yaitu 0,0850 sampai dengan 82,25 mikro Tesla. Nilai medan magnet tertinggi didapatkan pada koordinat (-6, 44). Tidak ada satu pun titik koordinat kuat medan magnet yang melebihi 100 mikro Tesla.
3. Desain jarak bebas minimum vertikal dari konduktor SUTET 275 kV sudah memperhatikan pajanan medan elektromagnetik yang timbul pada saat pengoperasiannya.
4. Untuk beberapa daerah dengan keadaan tertentu desain tersebut masih harus menyesuaikan dengan SNI 04-6918-2002 tentang Ruang Bebas dan Jarak Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

5. DAFTAR REFERENSI

- [1] Hazairin Z, Yusran, et al. "Analisis Dampak Lingkungan Hidup (ANDAL) Pembangunan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 275 kV Poso II-Palopo-Pomalaa di Provinsi Sulawesi Tengah, Selatan dan Tenggara", 2007
- [2] Tumiran, et al. "Listrik-SUTET Manfaat dan Kesehatan", Lembaga Kerjasama Fakultas Teknik UGM dan PT PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali, 2007
- [3] Yahya. I, Yusran, et al. "Studi Perhitungan Medan Listrik dan Medan Magnet Akibat SUTET 275 kV di Sulawesi Selatan serta Dampaknya Terhadap Lingkungan, Jurusan Teknik Elektro FT Unhas, 2006
- [4] Tim Dirjen PPPL Depkes RI. "Kiat Hidup Aman dan Sehat dengan Medan Listrik dan Medan Magnet", Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan Departemen Kesehatan RI, 2006
- [5] Kraus and Carver," Electromagnetics", Edisi ke dua, Mc Graw Hill, 1973.
- [6] Hyat. H.W, ,"Elektromagnetika Teknologi", Edisi ke lima, Erlangga, Jakarta, 1992
- [7] Shen Liang Chi and Kong Au Jin,"Aplikasi Elektromagnetik", Edisi ketiga, Erlangga, Jakarta, 1999