

STUDI INTENSITAS MEDAN LISTRIK DI SUTT 150 kV KONFIGURASI VERTIKAL UNTUK LINGKUNGAN PEMUKIMAN

I.N.Y. Prayoga¹, A.A.N. Amrita², C.G.I.Partha³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email : yudipraa@yahoo.co.id¹, ngr_amrita@ee.unud.ac.id², cokindra@yahoo.com³

Rekomendasi pembangunan rumah yang aman di bawah SUTT 150 kV konfigurasi vertikal dibutuhkan untuk menghindari paparan medan listrik yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh SNI dan WHO yaitu sebesar 5 Kv/m. Perhitungan kuat medan listrik pada 9 titik di bawah SUTT 150 kV konfigurasi vertikal menunjukkan kuat medan listrik tertinggi berada pada andongan terendah diantara 2 tiang SUTT. Rekomendasi pembangunan rumah pada andongan terendah sampai ketinggian lantai 4 meter dari permukaan tanah dengan intensitas medan listrik sebesar 4,75 kV/m. Intensitas medan listrik terendah berada tepat di bawah tiang SUTT dan direkomendasikan pembangunan rumah sampai ketinggian lantai 7 meter dari permukaan tanah dengan intensitas medan listrik sebesar 4,95 kV/m.

Kata Kunci : Intensitas Medan Listrik, Rekomendasi Jarak Aman, Lingkungan Pemukiman

1. PENDAHULUAN

Pembangunan tempat tinggal di bawah saluran udara tegangan tinggi (SUTT) perlu diperhatikan tingkat keamanannya bagi manusia dari paparan medan listrik yang timbul akibat adanya penyaluran energi listrik tegangan tinggi pada konduktor SUTT. Medan listrik berpotensi menimbulkan berbagai macam gangguan kesehatan bagi manusia antara lain terhadap sistem darah, sistem kardiovaskular, sistem saraf maupun sistem reproduksi seperti dikemukakan oleh IDI (Ikatan Dokter Indonesia) dan WHO (*World Health Organisation*) jika terpapar terus menerus selama 24 jam setiap hari [1].

Badan Standarisasi Nasional Indonesia (SNI) telah memberikan rekomendasi ruang bebas pada SUTT berupa daerah yang dibentuk oleh jarak bebas minimum secara vertikal dan horizontal. Manusia atau makhluk hidup lain dan bangunan tidak boleh ada di dalam ruang bebas ini. SNI juga memberikan rekomendasi nilai ambang batas aman dari paparan intensitas medan listrik selama 24 jam adalah sebesar 5 kV/m yang diatur pada SNI 04-6918-2002 berdasarkan lendutan terendah (andongan) [2]. Pembangunan tempat tinggal di bawah SUTT tidak semuanya berada pada titik terendah lendutan seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Rumah Penduduk di Bawah Titik Tertinggi Konduktor SUTT 150 kV Konfigurasi Vertikal

Penelitian ini mengacu pada penelitian besarnya intensitas medan listrik di bawah SUTT 150 kV konfigurasi vertikal sirkuit tunggal yang dilakukan oleh Ugustra (2015) [3]. Penelitian dilakukan dengan menghitung intensitas medan listrik di beberapa titik di bawah fasa R, S dan T. Hasilnya intensitas medan listrik tertinggi terdapat di titik tepat di bawah fasa R, S dan T. Banyaknya pembangunan rumah di sepanjang SUTT membuat dibutuhkan rekomendasi titik bebas minimum lain di sepanjang SUTT tidak hanya pada titik terendah andongan saja dengan tetap mengacu pada tinggi konduktor ke tanah.

2. Kajian Pustaka

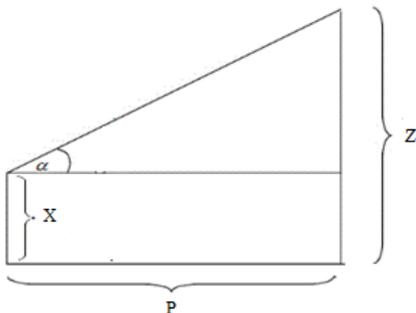
2.1 Clinometer Sederhana

Penelitian ini menggunakan *clinometer* sederhana sebagai alat ukur untuk mendapatkan tinggi konduktor ke tanah yang akan digunakan sebagai salah satu *variable* dalam perhitungan intensitas medan listrik. *Clinometer* sederhana ini bekerja dengan mengukur sudut elevasi yang dibentuk antara garis datar dengan sebuah garis yang menghubungkan sebuah titik pada garis datar tersebut dengan titik puncak suatu obyek. Berikut merupakan *clinometer* sederhana seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. *Clinometer* Sederhana

Pengukuran menggunakan *clinometer* sederhana ini akan memperoleh jarak objek dengan pengamat (P), tinggi pengamat dari permukaan tanah sampai mata (X) dan sudut elevasi (α).



Gambar 3. Ilustrasi Pengukuran Ketinggian Suatu Benda menggunakan *Clinometer* Sederhana

Menentukan tinggi objek (Z) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan trigonometri berikut :

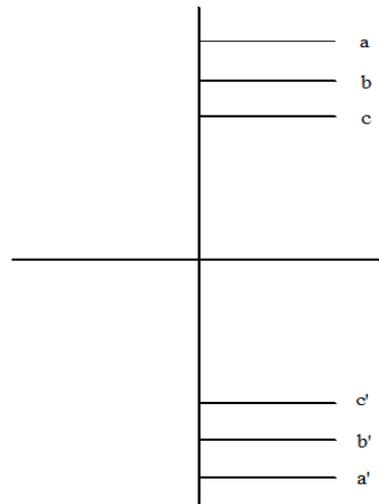
$$Z = X + (\tan \alpha \times P) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- Z = tinggi objek (m)
- X = tinggi tongkat pengamat dari permukaan tanah (m)
- Tan α = sudut elevasi (derajat)
- P = jarak pengamat dengan objek (m)

2.2 Medan Listrik

Metode bayangan digunakan untuk menentukan besar kuat medan listrik disekitar saluran transmisi. Metode ini menjelaskan bahwa medan listrik diatas bumi dipengaruhi oleh muatan saluran dan bayangannya sebagai akibat pengaruh bumi (saluran transmisi dianggap tak terhingga). Kuat medan listrik di suatu titik merupakan penjumlahan dari kuat medan akibat masing-masing saluran beserta bayangannya [4].



Gambar 4. Saluran 3 Fasa dengan Bayangannya

Muatan dari konduktor (Q) dapat ditentukan melalui tegangan (V) dan koefisien potensial Maxwell (P), dengan persamaan berikut :

$$[V] = [Q][P] \text{ Volt} \dots \dots \dots (2)$$

Sehingga :

$$[Q] = [P]^{-1}[V] = [C][V] \text{ coloumb} \dots\dots\dots (3)$$

Elemen matrik P adalah :

$$P_{aa} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \left[\frac{2H_a}{d_a} \right] \dots\dots\dots (4)$$

$$P_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \left[\frac{L_{ab}^I}{L_a} \right] \dots\dots\dots (5)$$

$$P_{aa} = P_{ba} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

P_{aa} = koefisien sendiri potensial Maxwell konduktor a.

P_{ab} = koefisien sendiri potensial Maxwell konduktor a dan b.

H_a = tinggi konduktor a di atas tanah

d_a = diameter konduktor a.

ϵ = konstanta dielektrik.

L_{ab}^{ab} = jarak antara konduktor a dan b.

L_{ab}^I = jarak antara konduktor a dan b bayangan.

Matrik koefisien potensial Maxwell didapatkan untuk n saluran transmisi sebagai berikut :

$$[P] = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} & \dots & \dots & P_{an} \\ P_{ba} & P_{bb} & \dots & \dots & P_{bn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{na} & P_{nb} & \dots & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} V/C \dots\dots\dots (7)$$

Matrik koefisien potensial Maxwell pada persamaan (7), akan menghasilkan matrik kapasitansi saluran dengan menginverskan persamaan matrik potensial tersebut.

$$[C] = [P]^{-1} = \begin{bmatrix} C_{aa} & C_{ab} & \dots & \dots & C_{an} \\ C_{ba} & C_{bb} & \dots & \dots & C_{bn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{na} & C_{nb} & \dots & \dots & C_{nn} \end{bmatrix} V/C \dots\dots\dots (8)$$

Matrik tegangan konduktor ditentukan oleh urutan fasanya (dengan menggunakan operator a). maka matrik 1 kolom tegangan fasa ke netral (untuk rangkaian 3 fasa), dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = V/\sqrt{3} \begin{bmatrix} 1 + j0 \\ -1/2 + j1/2\sqrt{3} \\ -1/2 - j1/2\sqrt{3} \end{bmatrix} V/C \dots\dots\dots (9)$$

Dimana : V = tegangan fasa ke tanah

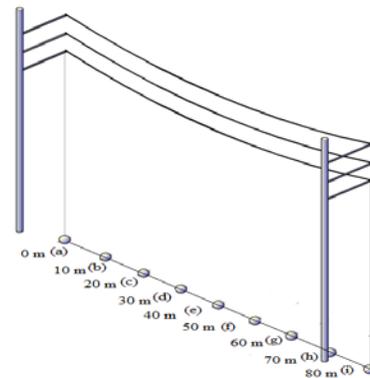
Medan listrik diatas permukaan tanah dinyatakan sebagai vektor vertikal kuat medan. Medan yang dihasilkan diatas permukaan tanah oleh muatan pada konduktor, dinyatakan oleh persamaan berikut [5]:

$$E_1 = \frac{Q_{r1} + jQ_{rl}}{\pi\epsilon} \frac{Y_1}{(X_1 - X_p)^2 + Y_1^2} N/C \dots\dots\dots (10)$$

3. Metode Penelitian

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu :

1. Pengumpulan data spesifikasi konduktor pada SUTT 150 kV konfigurasi vertikal antara GI Sanur – GI Gianyar.
2. Menentukan 9 titik pengukuran di bawah SUTT 150 kV konfigurasi vertikal antara GI Sanur – GI Gianyar yaitu dari titik 0 meter – 80 meter pada tiang nomor 119 – 120.



Gambar 5. Ilustrasi Lokasi Kuat medan Listrik yang akan Dihitung

3. Melakukan pengukuran sudut elevasi tinggi konduktor ke permukaan tanah menggunakan *clinometer* sederhana pada 9 titik pengukuran dan melakukan perhitungan tinggi konduktor ke permukaan tanah dengan persamaan 1.
4. Melakukan perhitungan kuat medan listrik pada 9 titik pengukuran dengan variasi jarak secara vertikal setinggi 1 meter sampai pada suatu titik perhitungan yang intensitas medan listriknya melebihi

standar yang ditetapkan SNI 04-6918-2002 sebesar 5 kV/m.

- Membuat rekomendasi berupa tabel dan grafik intensitas medan listrik dibawah konduktor SUTT 150 kV konfigurasi vertikal berdasarkan hasil perhitungan intensitas medan listrik dan analisa ruang bebas yang dimiliki SUTT 150 kV konfigurasi vertikal.

4. Hasil dan Pembahasan

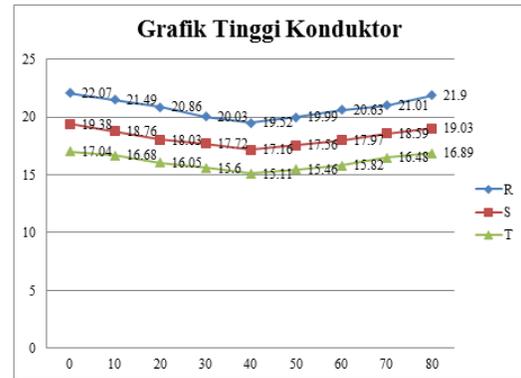
4.1 Pengukuran Sudut Elevasi Ketinggian Konduktor ke Permukaan Tanah

Pengukuran sudut elevasi ketinggian konduktor ke permukaan tanah yang dilakukan dengan menggunakan *Clinometer* sederhana dan perhitungan dengan persamaan (1) menghasilkan rerata tinggi konduktor pada 9 titik pengukuran di bawah SUTT 150 kV konfigurasi vertikal dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Rerata Tinggi Konduktor ke Tanah di Semua Titik Pengukuran

Titik Pengukuran (meter)	Tinggi (meter)		
	R	S	T
0	22.07	19.38	17.04
10	21.49	18.76	16.68
20	20.86	18.03	16.05
30	20.03	17.72	15.60
40	19.52	17.16	15.11
50	19.99	17.97	15.46
60	20.63	17.97	15.82
70	21.01	18.59	16.48
80	21.90	19.03	16.89

Berdasarkan tabel 1, dapat dilihat grafik hasil pengukuran tinggi konduktor ke tanah pada 9 titik pengukuran di bawah saluran transmisi pada gambar 6, yang menunjukkan andongan atau titik lendutan terendah berada pada titik pengukuran 40 meter atau tepat berada di tengah – tengah antara 2 tiang transmisi.



Gambar 6. Grafik Hasil Pengukuran Tinggi Konduktor ke Tanah Antara Dua Tiang Transmisi

4.2 Hasil Perhitungan Kuat Medan Listrik

Kuat medan listrik yang akan dihitung pada SUTT 150 kV konfigurasi vertikal antara GI Sanur dan GI Gianyar, menggunakan penghantar jenis *ACSR Hawk*, yang mempunyai spesifikasi seperti pada tabel 2 [6].

Tabel 2. Data Spesifikasi Konduktor

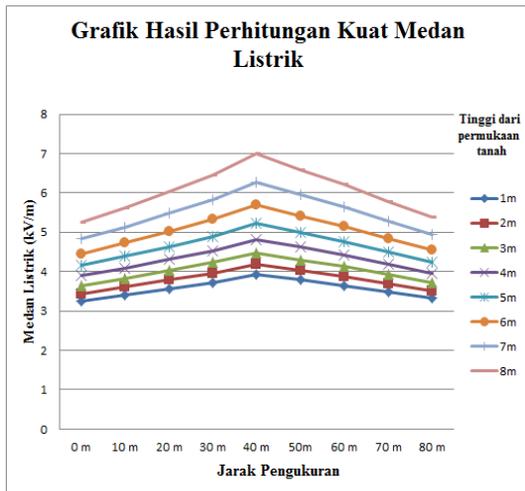
Parameter	Nilai	Satuan
Luas Penampang Konduktor	240	mm ²
Jari – jari konduktor	8,74	mm

Pengukuran kuat medan listrik pada SUTT 150 kV konfigurasi vertikal antara GI Sanur – GI Gianyar pada tiang nomor 119 – 120 yang dilakukan pada 9 titik pengukuran menghasilkan kuat medan listrik tertinggi berada pada titik pengukuran 40 meter yang merupakan titik andongan atau lendutan terendah. Hasil perhitungan intensitas medan listrik pada titik pengukuran lainnya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kuat Medan Listrik

Titik Perhitungan	Intensitas Medan Listrik (kV/m)									
	Tinggi Konduktor (m)									
	Di atas	Re=22,07	Re=21,49	Re=20,88	Re=20,03	Re=19,52	Re=19,99	Re=20,63	Re=21,01	Re=21,90
Permukaan	Se=19,38	Se=18,76	Se=18,03	Se=17,72	Se=17,16	Se=17,56	Se=17,97	Se=18,59	Se=19,03	
Tanah	Te=17,04	Te=16,68	Te=16,05	Te=15,60	Te=15,11	Te=15,46	Te=15,82	Te=16,48	Te=16,89	
1 m	3,33	3,40	3,50	3,78	3,88	3,76	3,59	3,55	3,32	
2 m	3,52	3,60	3,72	4,01	4,13	4,00	3,81	3,76	3,51	
3 m	3,73	3,83	3,96	4,28	4,42	4,27	4,06	4,00	3,72	
4 m	3,97	4,08	4,24	4,59	4,75	4,58	4,35	4,27	3,97	
5 m	4,24	4,38	4,56	4,96	5,14	4,95	4,69	4,58	4,24	
6 m	4,56	4,72	4,93	5,38	5,60	5,38	5,08	4,94	4,57	
7 m	4,93	5,12	5,38	5,89	6,16	5,89	5,55	5,37	4,95	
8 m	5,38	5,60	5,92	6,51	6,86	6,53	6,12	5,89	5,40	
JARAK UKUR	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	
Titik perhitungan	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	

Berdasarkan tabel 3, grafik hasil perhitungan kuat medan listrik antara tiang 119 – 120 pada SUTT 150 kV konfigurasi vertikal dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Grafik Hasil Perhitungan Kuat Medan Listrik antara Tiang 119 – 120

Hasil perhitungan kuat medan listrik yang ditunjukkan pada tabel 3 dan grafik gambar 7 menunjukkan intensitas medan listrik pada titik pengukuran 40 meter ini sudah melewati ambang batas yang ditentukan oleh SNI 04-6918-2002 sebesar 5 kV pada ketinggian 5 meter dengan intensitas medan listrik sebesar 5,14 kV/m, sehingga direkomendasikan ketinggian lantai untuk

pembangunan tempat tinggal pada titik pengukuran 40 meter ini tidak melebihi 4 meter dari permukaan tanah. Hasil perhitungan intensitas medan listrik terendah berada pada titik pengukuran 0 meter dan 80 meter yang berada pada lendutan tertinggi dan direkomendasikan tinggi lantai untuk pembangunan tempat tinggal hingga ketinggian 7 meter dari permukaan tanah dengan intensitas medan listrik sebesar 4,93 kV/m dan 4,95 kV/m, sedangkan rumah dengan ketinggian lantai di bawah 5 meter bebas dibangun pada semua titik pengukuran di antara dua tiang transmisi.

5. Penutup
5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil pengukuran tinggi konduktor ke tanah menggunakan *clinometer* sederhana di bawah SUTT 150 kV sirkuit tunggal GI sanur – GI Gianyar pada tiang nomor 119 – 120 menghasilkan lendutan terendah atau adongan dengan tinggi 15,11 meter berada pada titik pengukuran 40 meter atau tepat di tengah – tengah antara 2 tiang transmisi yang menunjukkan bahwa dua tiang transmisi tersebut dibangun di daerah yang rata.
2. Berdasarkan hasil perhitungan kuat medan listrik tertinggi berada di bawah lendutan terendah atau adongan pada titik pengukuran 40 meter yang telah melewati standar batas yang ditetapkan oleh SNI 04-6918-2002 yaitu 5 kV/m berada pada ketinggian 5 meter di atas permukaan tanah sebesar 5,14 kV/m, sehingga dari hasil tersebut tidak direkomendasikan membangun rumah dengan tinggi lantai lebih dari 4 meter di atas permukaan tanah pada titik lendutan atau adongan terendah.
3. Pembangunan rumah dengan ketinggian lantai 5 meter – 7 meter dari permukaan tanah hanya direkomendasikan di titik pengukuran 0 meter dan 80 meter, sedangkan rumah dengan ketinggian lantai di bawah 5 meter bebas dibangun pada semua titik pengukuran di antara dua tiang transmisi.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian kuat medan listrik pada SUTT 150 kV konfigurasi vertikal sirkuit ganda, sehingga dapat mengetahui perbandingan intensitas medan listrik dengan penelitian pada SUTT 150 kV konfigurasi vertikal sirkuit tunggal.
2. Penelitian selanjutnya dapat melakukan perhitungan intensitas medan listrik untuk rekomendasi pembangunan rumah tinggal pada daerah di antara tiang transmisi konfigurasi horizontal dan tiang transmisi konfigurasi vertikal.

6. Daftar Pustaka

- [1] Anies, 2007. *Mengatasi Gangguan Kesehatan Masyarakat Akibat Radiasi Elektromagnetik Dengan Manajemen Berbasis Lingkungan*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [2] SNI 04-6918-2002 Tentang Ruang Bebas Dan Jarak Minimum Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) Dan Saluran Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), 2002-1-24
- [3] Ugustra. S. 2015. *Kajian Kuat Medan Listrik Pada Konfigurasi Vertikal Saluran Transmisi 150 kV. (Tugas Akhir)*. Jimbaran : Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.
- [4] Prasetyo, I. 2002. *Analisis Kuat Medan Listrik Dan Medan Magnet Pada Perencanaan Pengoperasian SUTT 150kv Peraan-Ubud (Tugas Akhir)*. Jimbaran : Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.
- [5] Hayt, William. H., dkk 2006. *Elektromagnetika Edisi Ketujuh. (Irzam Harmein, pentj)*. Jakarta: Erlangga.
- [6] PT. PLN Persero – Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban (P3B) Jawa-bali – Area Pelaksana Pemeliharaan Beban (APB) Bali.