

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Akmal, Taufiqurrahman & Khayam, Umar & Lumba, Lunnetta. (2019). Study of Electromagnetic Effect of 150 kV Transmission Line, yang dipresentasikan pada 2019 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), membahas mengenai pengaruh medan elektromagnetik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi udara 150 kV terhadap lingkungan di sekitarnya. Kajian ini dilakukan melalui kombinasi simulasi dan pengukuran lapangan untuk mengetahui distribusi medan listrik dan medan magnet pada berbagai titik di bawah saluran transmisi, khususnya pada ketinggian setara manusia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas medan listrik dipengaruhi oleh besarnya tegangan yang diterapkan pada konduktor, sedangkan medan magnet dipengaruhi oleh arus yang mengalir. Nilai maksimum medan listrik dan medan magnet yang diperoleh masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh standar internasional.

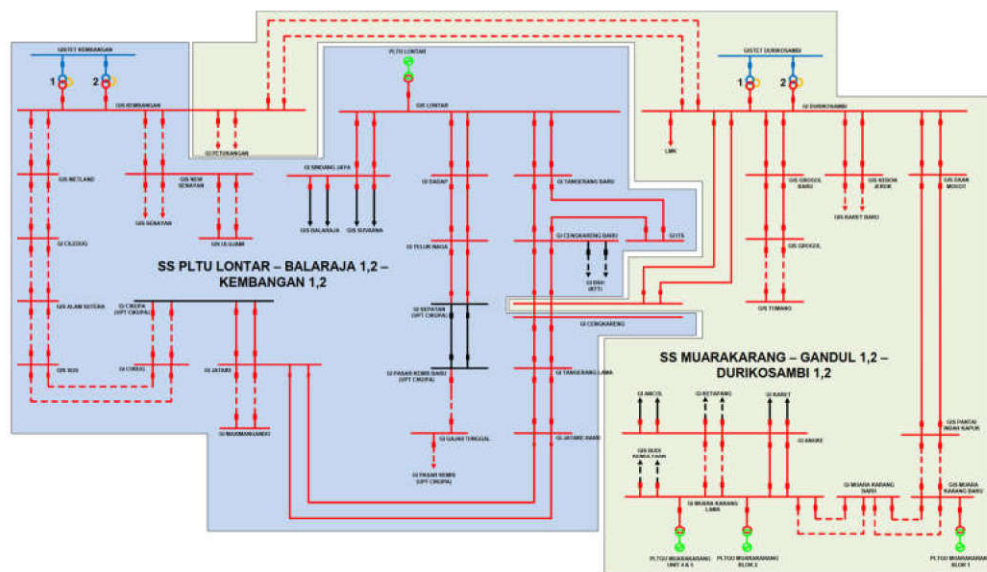
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah salah satu jenis sistem transmisi tenaga listrik yang menggunakan media udara sebagai isolasi utama dengan tegangan operasi 70 kV – 150 kV. Saluran ini berfungsi untuk menyalurkan energi listrik jarak menengah (antar gardu induk atau dari pusat pembangkit ke pusat beban).

SUTT 150 kV Kembangan – Petukangan adalah jaringan transmisi sirkuit ganda yang menghubungkan subsistem Lontar – Balaraja 1,2 - Kembangan dan subsistem Gandul 1,3 sebagai suplai cadangan di sisi 150 kV. Dengan konduktor jenis GT ACSR berdiameter 28 mm inti ganda yang dipisah oleh spacer dengan jarak 30 cm, jalur ini memiliki kapasitas penyaluran

sebesar 2000 A atau 500 MW pada masing-masing penghantar. Pada kondisi pembebanan normal, jalur ini menyalurkan beban rata-rata sebesar 70 A. Tinggi konduktor fasa T (Paling bawah) adalah 14 meter dan jarak antar fasa 3 meter. Jarak antara penghantar 1 dan penghantar 2 adalah 8 meter. Pemeliharaan rutin dilaksanakan secara harian oleh petugas *Line Walker* untuk inspeksi level 1 dan 2 dan dua tahunan oleh tim pemeliharaan untuk inspeksi level 3 atau *shut down inspection* serta pemeliharaan korektif jika ditemukan anomali pada peralatan. *Single Line Diagram* SUTT Kembangan – Petukangan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Single Line Diagram* SS PLTU Lontar – Balaraja 1,2 – Kembangan 1,2 dan SS Muarakarang – Gandul 1,2 – Durikosambi 1,2

2.2.2 Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum

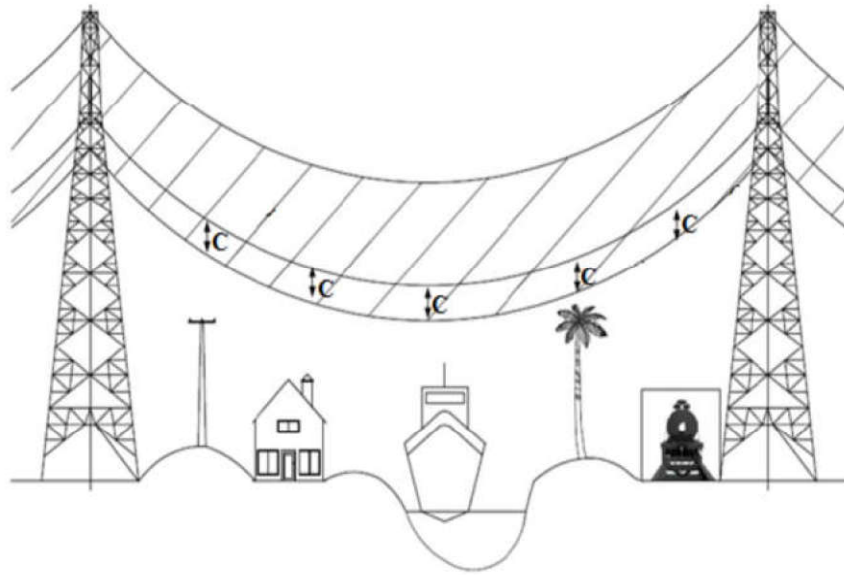
Ruang bebas adalah ruang yang dibatasi oleh bidang vertikal dan horizontal di sekeliling dan di sepanjang konduktor jaringan transmisi tenaga listrik di mana tidak boleh ada benda di dalamnya demi keselamatan manusia, makhluk hidup, dan benda lainnya serta keamanan operasi jaringan transmisi tenaga listrik.

Jarak bebas minimum vertikal dari konduktor adalah jarak terpendek secara vertikal antara konduktor jaringan transmisi dengan permukaan bumi atau benda di atas permukaan bumi yang tidak boleh kurang dari

jarak yang telah ditetapkan demi keselamatan manusia, makhluk hidup, dan benda lainnya serta keamanan operasi jaringan transmisi tenaga listrik.

Tabel 2.1 Jarak Bebas Minimum Vertikal dari Konduktor

No.	Lokasi	SUTT		SUTET		SUTTAS	
		66 kV	150 kV	275 kV	500 kV	250 kV	500 kV
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1.	Lapangan terbuka atau daerah terbuka	7,5	8,5	10,5	12,5	7,0	12,5
2.	Daerah dengan keadaan tertentu						
	· Bangunan, jembatan	4,5	5,0	7,0	9,0	6,0	9,0
	· Tanaman/tumbuhan, hutan, perkebunan	4,5	5,0	7,0	9,0	6,0	9,0
	· Jalan/jalan raya/rel kereta api	8,0	9,0	11,0	15,0	10,0	15,0
	· Lapangan umum	12,5	13,5	15,0	18,0	13,0	17,0
	· SUTT lain, saluran udara tegangan rendah (SUTR), saluran udara tegangan menengah (SUTM), saluran udara komunikasi, antena dan kereta gantung	3,0	4,0	5,0	8,5	6,0	7,0
	· Titik tertinggi tiang kapal pada kedudukan air pasang/tertinggi pada lalu lintas air	3,0	4,0	6,0	8,5	6,0	10,0

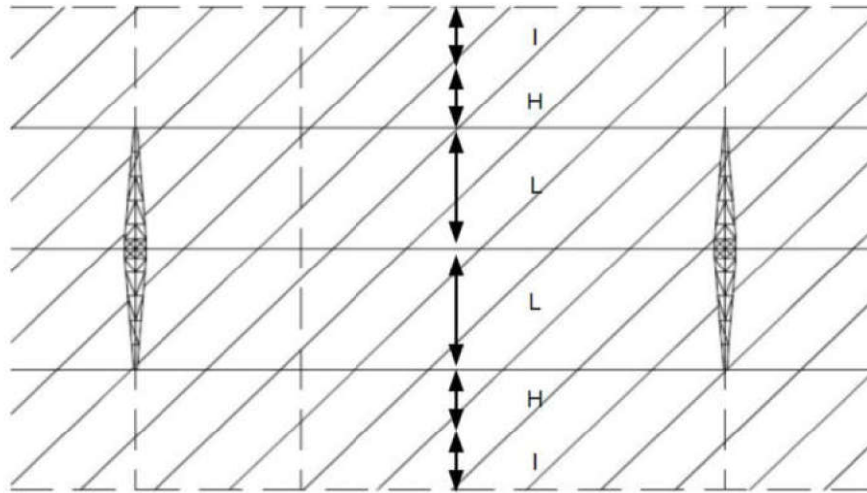


Gambar 2.2 Penampang Memanjang Ruang Bebas Jaringan Transmisi

Gambar 2.2 menunjukkan jarak bebas minimum vertikal dari konduktor ditandai dengan huruf **C**

Jarak bebas minimum horizontal dari sumbu vertikal menara/tiang adalah jarak terpendek secara horizontal dari sumbu vertikal menara atau tiang ke bidang vertikal ruang bebas, meliputi jarak dari sumbu vertikal menara ke konduktor, jarak horizontal akibat ayunan konduktor, dan jarak bebas impuls petir. Gambar 2.3 menunjukkan penampang jaringan transmisi tampak atas dengan keterangan:

- L: Jarak dari sumbu vertikal menara/tiang ke konduktor (3,85 m)
- H: Jarak horizontal akibat ayunan konduktor 3,76 m)
- I: Jarak bebas impuls petir untu SUTT dan SUTTAS atau jarak bebas impuls switsing (*switching impulse*) untuk SUTET (1,50 m)



Gambar 2.3 Pandangan Atas Ruang Bebas Jaringan Transmisi

2.2.3 Medan Listrik

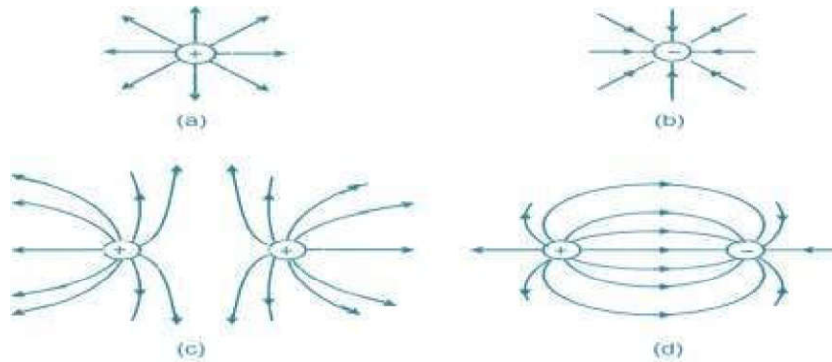
Medan listrik adalah suatu daerah di sekitar benda bermuatan listrik di mana muatan lain akan mengalami gaya listrik. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Michael Faraday.

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

dengan F = gaya listrik (N), q_1, q_2 = muatan (C), r = jarak (m), $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

Intensitas medan listrik (E) didefinisikan sebagai gaya per satuan muatan uji:

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2}$$

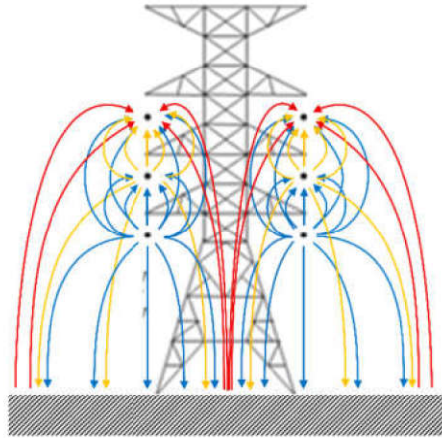


Gambar 2.4 Garis-garis medan listrik di sekitar: (a) muatan positif (b) muatan negatif (c) pasangan dua muatan positif (d) pasangan muatan positif dan muatan negatif

Medan listrik merupakan besaran fisik yang timbul akibat adanya perbedaan potensial listrik dan berperan dalam memengaruhi distribusi muatan serta karakteristik material dielektrik, di mana pada bahan isolator medan listrik tidak menghasilkan arus bebas namun menyebabkan polarisasi, peningkatan resistansi, dan perubahan sifat dielektrik yang menentukan kinerja sistem isolasi listrik. Fenomena yang terjadi akibat pengaruh medan listrik, seperti kebocoran arus, *corona discharge*, dan induksi tegangan berpotensi menimbulkan pengaruh terhadap aktivitas di sekitarnya tergantung besarnya medan listrik yang muncul

Dalam sistem transmisi, medan listrik timbul akibat tegangan tinggi yang diberikan pada konduktor SUTT. Distribusi medan listrik dipengaruhi:

- Ketinggian konduktor dari tanah.
- Jarak horizontal dari sumbu konduktor.
- Konfigurasi fasa (horizontal, vertikal, delta).
- Jumlah penghantar (bundle conductor).



Gambar 2.5 Ilustrasi Medan Listrik di Sekitar Jaringan SUTT 150 kV

Rumus perhitungan medan listrik untuk 1 kawat di atas tanah dengan panjang tak terhingga:

$$E_x(x, y) = \frac{V}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right)} \left(\frac{x^2}{x^2 + (y - h)^2} - \frac{x^2}{x^2 + (y + h)^2} \right)$$

$$E_y(x, y) = \frac{V}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right)} \left(\frac{(y - h)^2}{x^2 + (y - h)^2} - \frac{(y + h)^2}{x^2 + (y + h)^2} \right)$$

$$E_R = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

x = jarak horizontal titik observasi dengan kawat

y = jarak vertikal titik observasi dengan tanah

V = tegangan fasa-ke tanah

h = tinggi kawat dari tanah

r = jari-jari kawat

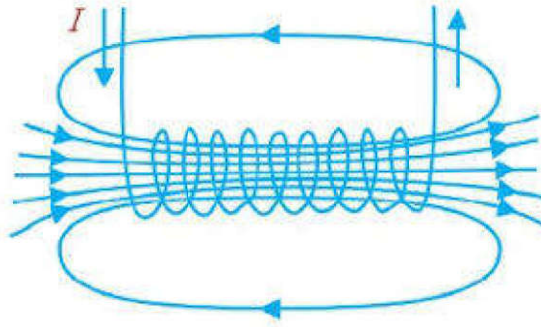
2.2.4 Medan Magnet

Medan magnet adalah daerah di sekitar penghantar berarus listrik atau benda bermagnet di mana partikel bermuatan yang bergerak akan mengalami gaya magnetik (gaya Lorentz). Hukum *Biot-Savart*

menyatakan bahwa medan magnet pada suatu titik akibat elemen arus $I dl$ adalah:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl \times \hat{r}}{r^2}$$

dengan $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$.

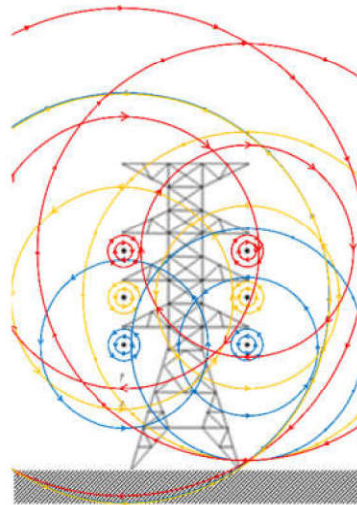


Gambar 2.6 Ilustrasi Garis Medan Magnet

Untuk penghantar lurus panjang dengan arus I , intensitas medan magnet di titik sejauh r dari konduktor diberikan oleh:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Medan magnet berbentuk lingkaran konsentris mengelilingi penghantar dengan arah ditentukan oleh kaidah tangan kanan (ibu jari = arah arus, jari melingkar = arah medan).



Gambar 2.7 Ilustrasi Medan Magnet di Sekitar Jaringan SUTT 150 kV

2.2.5 Standar Batas Paparan Medan Elektromagnetik

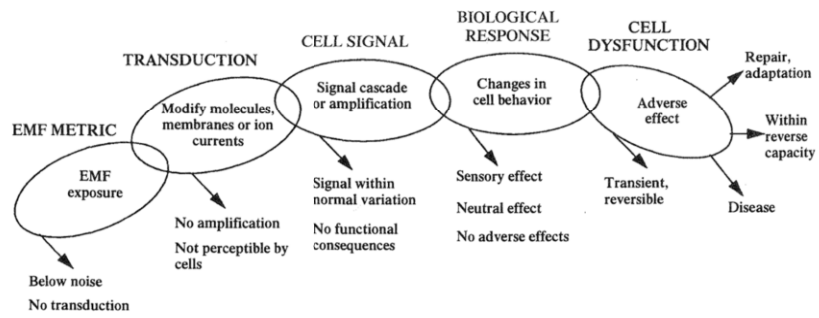
Dalam menentukan batas paparan medan listrik dan medan magnet, terdapat beberapa standar yang menyebutkan batas paparan medan listrik dan medan magnet dalam waktu tertentu sebagaimana dicantumkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Batas Paparan Medan Elektromagnetik

Standar	Klasifikasi	Medan Listrik (kV/m)	Medan Magnet (μ T)
ICRNIP	Masyarakat Umum	5	200
ICRNIP	Pekerja	10	1000
IEEE C95.6-2002	Masyarakat Umum	5	200
SPLN 112:1998	Semua Kategori	5	500

2.2.6 Efek Medan Elektromagnetik Terhadap Tubuh Manusia

Valberg et al. (1997) melakukan analisis komprehensif terhadap berbagai mekanisme interaksi medan elektromagnetik frekuensi daya (50/60 Hz) dengan sistem biologis. Studi ini menyimpulkan bahwa pada level paparan lingkungan, energi dan gaya yang diinduksi oleh medan listrik dan medan magnet jauh lebih kecil dibandingkan noise biologis alami dalam tubuh. Berbagai mekanisme yang diusulkan, termasuk transfer energi langsung, gaya pada ion, interaksi partikel feromagnetik, mekanisme radikal bebas, dan resonansi ion, tidak didukung secara kuat oleh prinsip fisika maupun bukti eksperimental. Oleh karena itu, hubungan kausal antara paparan EMF frekuensi daya dan penyakit belum dapat dijelaskan melalui mekanisme biologis yang mapan.



Gambar 2.8 Mekanisme Interaksi Medan Elektromagnetik dengan Sistem Biologis