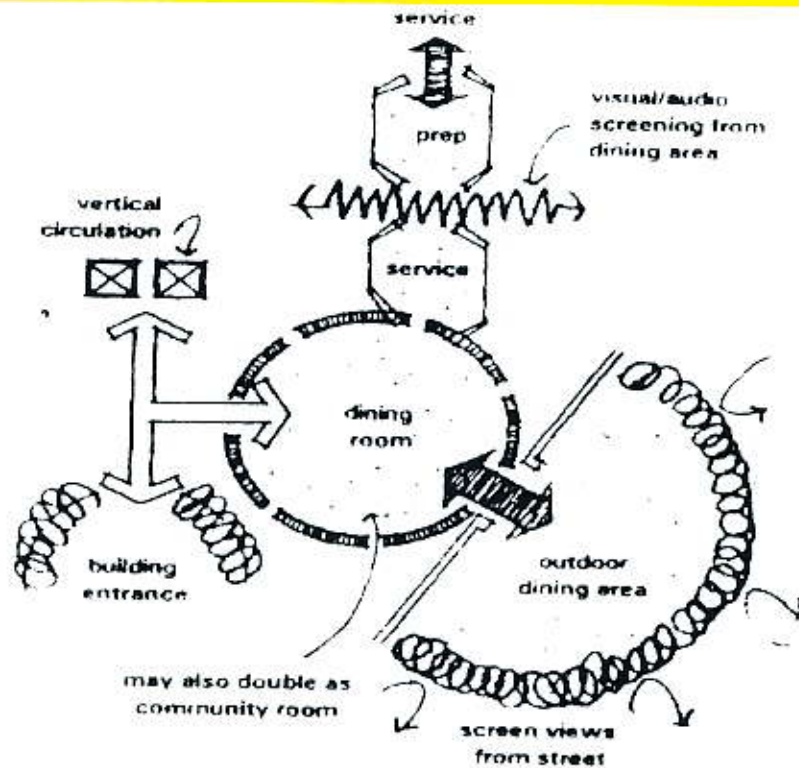


ISSN : 1693 - 6191

JURNAL TEKNIK



Volume 8, No.2. Desember 2010

Diterbitkan oleh:

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO

JURNAL TEKNIK

Volume 8, No. 2, Desember 2010 – ISSN : 1693 – 6191

Pengarah	Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo
Penanggung Jawab	Pembantu Dekan I Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo
Ketua	Rifadli Bahsuan, ST, MT.
Sekretaris	Irwan Wunarlani, ST, MSi.
Bendahara	Marika Mahmud, S.T., M.Si.
Anggota	Yuliyanti Kadir, ST, MT. Yasin Muhamad, ST, MT. Darwis Hineo, ST, MT. L. Ningrayati Amali, S.Kom, M.Kom. Hasmah, S.Pd. Harley Rizal Lihawa, ST, MT.
Reviewer untuk Edisi ini	Harley R. Lihawa, ST, MT Irwan Wunarlani, ST, MSi Yuliyanti Kadir, ST, MT Rifadli Bahsuan, ST, MT Ir. Wahab Musa, MT
Pelaksana Tata Usaha	Alexander Badjuka, A.M.d Charles Mopangga, S.Pd. Laswi Kamali, A.Md. Sri Ninang Hadjarati, A.Md

JURNAL TEKNIK adalah jurnal ilmiah Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo. Jurnal ini diterbitkan sebagai wadah komunikasi ilmiah penyebar luasan hasil-hasil penelitian, maupun kajian ilmiah di dalam bidang Teknik Sipil, Teknik Elektro, Teknik Informatika, Teknik Kriya, Teknik Arsitektur, dan Teknik Industri serta bidang teknik terkait lainnya. Jurnal terbuka bagi civitas akademika Universitas Negeri Gorontalo, maupun masyarakat akademis pada umumnya, dan diterbitkan setiap bulan Juni dan Desember. Terbit pertama kali pada bulan Juni 2003.

Redaksi berhak menetapkan tulisan yang akan dimuat, mengadakan perubahan susunan naskah, memperbaiki bahasa, meminta penulis untuk memperbaiki naskah, dan menolak naskah yang tidak memenuhi syarat.

ALAMAT REDAKSI

JURNAL TEKNIK, Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo
Jl. Jenderal Sudirman No. 6 Gorontalo - 96128
Telp. (0435) 821125 Pcs. 281; Fax.: (0435) 821752 atau (0435) 821183
e-mail: rifadli_b03@yahoo.com atau wunarlani72@gmail.com

DAFTAR ISI

Volume 8, No. 2, Desember 2010 – ISSN : 1693 – 6191

Analisis Radiasi Gelombang Elektromagnetik SUTT 150 kV Menggunakan Metode <i>Geometric Mean Distance</i> (GMD) Dan <i>Geometric Mean Radius</i> (GMR) Ervan Hasan Harun	145
Evaluasi Timbunan TPI Gentuma Kabupaten Gorontalo Utara Fadly Achmad	161
Pemilihan Dan Penataan Interior Yang Tepat Pada Rumah Tinggal Type Mungil Di Gorontalo (Studi Kasus Rumah Type 36, 45, 54) Kalih Trumansyahjaya	171
Penerapan Konsep Nilai Hasil Pada Proyek Lanjutan Pembangunan Gedung Kantor DPRD Kabupaten Gorontalo Utara Arfan Utarahman	183
Formulasi Bahan Dan Teknik <i>Finishing</i> Untuk Produk-Produk Kriya I Wayan Sudana	196
Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolis (Hrt) Terhadap Penurunan Senyawa Amonium Nitrat Menggunakan Bakteri, Batu Belerang Dan Batu Kapur Hasanuddin	208
Mengukur Kepuasan Mahasiswa Terhadap Kualitas Pelayanan Administrasi Akademik Di Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo Nilawaty Yusuf	220
Arsitektur Dekonstruksi (Kajian Teori, Metode Dan Aplikasi) Harley Rizal Lihawa	231
Uji Kinerja Bahan Bakar Campuran Biodiesel dan Petrodiesel dengan Mesin Diesel Nita Suleman	245
Daftar Intisari dan Abstrak Jurnal Teknik Vol. 8, No. 1, Juni 2010	254
Sampul Depan: Proses Pengorganisasian Ruang Dalam Desain Interior : Tahap 1 (artikel halaman 173)	

ANALISIS RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK SUTT 150 kV
MENGUNAKAN METODE *GEOMETRIC MEAN DISTANCE* (GMD)
dan *GEOMETRIC MEAN RADIUS* (GMR)

Ervan Hasan Harun¹

Intisari

Radiasi Gelombang Elektromagnetik selalu menjadi isu utama dalam setiap pembangunan saluran transmisi yang menggunakan SUTT maupun SUTET.

Dalam penelitian ini metode GMD dan GMR digunakan dalam menganalisis besar radiasi Gelombang Elektromagnetik yang ditimbulkan oleh SUTT 150 kV di Propinsi Gorontalo, kemudian dievaluasi menggunakan Nilai Ambang Batas berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh WHO dan ICNIRP.

Dari hasil penelitian diperoleh, besar radiasi medan magnet dan medan listrik yang ditimbulkan oleh saluran transmisi SUTT 150 kV di Propinsi Gorontalo masih di bawah Nilai Ambang Batas (NAB).

Kata kunci: radiasi, SUTT, SUTET, Gelombang Elektromagnetik

Abstract

Electromagnetic wave radiation has always been a major issue in any development a transmission line that uses SUTT or SUTET.

In this study GMD and GMR method used in analyzing the radiation of Electromagnetic Waves generated by SUTT 150 kV in the province of Gorontalo, and then evaluated using the Threshold Value in accordance with standards issued by WHO and ICNIRP.

The results were obtained, the radiation of magnetic fields and electric fields generated by 150 kV transmission line SUTT in Gorontalo province was still under the Threshold Limit Value (NAV).

Keyword: Radiation, SUTT, SUTET, Electromagnetic wave

PENGANTAR

Pembangunan Provinsi Gorontalo yang sangat pesat di berbagai bidang mengakibatkan kebutuhan akan tenaga listrik dalam jumlah dan kualitas yang baik semakin meningkat. Kesenjangan antara pasokan dan kebutuhan tenaga listrik merupakan kendala dalam rencana pembangunan jangka panjang Provinsi Gorontalo di bidang kelistrikan.

Hingga saat ini pemenuhan kebutuhan listrik di Provinsi Gorontalo dipasok dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Telaga yang memiliki kapasitas 46.290 kW dan sistem Marisa 6.475 kW dengan daya mampu pembangkit masing-masing hanya sebesar 27.850 kW dan 2.930 kW.

¹ Ervan Hasan Harun, ST, MT. Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Gorontalo

Sehubungan dengan usaha pemerintah di bidang diversifikasi energi untuk pembangkit tenaga listrik ke non bahan bakar minyak, maka di Propinsi Gorontalo saat ini sedang dibangun PLTU Batubara dengan kapasitas 2×25 MW yang berlokasi di kecamatan Anggrek Kabupaten Gorontalo Utara.

Untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit, dalam hal ini PLTU Anggrek ke pusat-pusat beban, maka dibangun *Transmission Line (TL)* 150 kV, yang berfungsi sebagai penyalur energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Radiasi Gelombang Elektromagnetik

Radiasi gelombang elektromagnetik selalu menjadi isu utama dalam pembangunan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) disamping isu lainnya seperti pembebasan lahan.

Kekhawatiran akan pengaruh negatif radiasi elektromagnetik terhadap kesehatan, khususnya yang berasal dari transmisi tegangan tinggi, semula memang dipicu oleh publikasi hasil penelitian oleh Wertheimer dan Leeper (1979) di Amerika Serikat, yang menggambarkan adanya hubungan kenaikan risiko kematian akibat leukemia pada anak dengan jarak tempat tinggal yang dekat jaringan transmisi listrik bertegangan tinggi. Meskipun telah dilakukan koreksi oleh para peneliti lain seperti Savitz dkk (1987), tidak seharusnya diabaikan begitu saja, mengingat akibat yang terjadi memerlukan waktu sangat lama, lebih dari 20 tahun.

Beberapa penelitian tentang pengaruh radiasi elektromagnetik yang diakibatkan oleh tegangan tinggi menemukan kesimpulan yang berbeda-beda. WHO (1989) melaporkan hasil penelitian Hauf (1982) yang melakukan penelitian epidemiologis terhadap 32 pekerja yang terpapar radiasi elektrik dan magnetik 380 KV selama 20 tahun. Hasilnya memperlihatkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara kasus dan kontrol yang diamati dalam hal : kelainan fisik, haematologis, biokimia, hormon dan perilakunya.

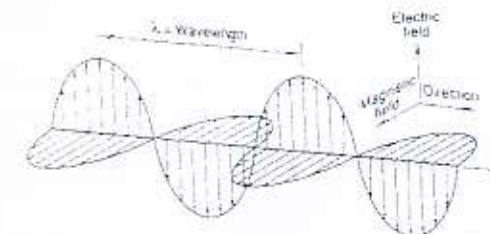
Busby (1914) melaporkan hasil pengamatannya terhadap 18 petani yang bekerja di lahan pertanian Ohio-Amerika Serikat dan dekat dengan jalur transmisi sebesar 165 KV, yang selanjutnya dilaporkan tentang tidak adanya dampak kesehatan. Selanjutnya di Perancis, Strumza (1910) melaporkan hasil penelitiannya yang melibatkan para dokter dan ahli Farmasi terhadap 10 keluarga yang tinggal dan bekerja dekat dengan transmisi listrik sebesar 200 dan 400 KV, hasilnya juga tidak ada dampak kesehatan.

Mengenai radiasi, Dirjen PPM & PL (Depkes-RI, 2002) menyatakan bahwa radiasi dapat menimbulkan dampak negatif pada tubuh yang bergantung pada besarnya energi atau dosis yang diterima oleh tubuh.

Untuk mengetahui radiasi elektromagnetik dapat memberikan dampak negatif kepada masyarakat dan lingkungan, maka diperlukan pengukuran besar radiasi melalui metode insitu. Namun pada penelitian ini, besar radiasi elektromagnetik dianalisis menggunakan metode GMD dan GMR yang menjelaskan hubungan antara sifat listrik berupa induktans dan kapasitans dengan besaran medan magnet dan medan listrik.

2. Medan Elektromagnetik

Medan elektromagnetik terdiri atas medan elektrik (E) dan medan magnetis (H) yang bergerak bersama-sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Gelombang Elektromagnetik bergerak dengan kecepatan cahaya dan memiliki karakteristik yang bergantung pada frekuensi dan panjang gelombang.



Gambar 1. Medan Elektromagnetik

Medan Elektrik ditimbulkan oleh tegangan listrik. Kuat medan elektrik diukur dalam satuan volt per meter (V/m) atau dalam kilovolt per meter (kV/m). Sedangkan Medan

Magnet ditimbulkan oleh aliran muatan listrik (arus listrik). Kuat medan magnet diukur dalam satuan amper per meter (A/m) tetapi umumnya digunakan satuan Tesla (T).

3. Batas Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet

Nilai ambang batas medan listrik dan medan magnet dengan frekuensi 50/60 Hz pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) dan saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET), ditetapkan dengan berorientasi kepada kesehatan manusia dan makhluk hidup disekitarnya dan berdasarkan pada hasil penelitian para pakar. Nilai ambang batas medan listrik dinyatakan oleh kuat medan listrik dan nilai ambang batas medan magnet dinyatakan oleh rapat fluks magnet (SNI 04-6950-2003).

World Health Organization (WHO, 1990) dan *International Radiation Protection Association* (IRPA, 1990) merekomendasikan batas paparan medan listrik dan medan magnet 50-60 Hz, berbeda untuk lingkungan kerja dan umum, juga besar paparan yang diperbolehkan untuk jangka waktu tertentu.

Tabel 1. NAB menurut ICNIRP (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection)

Limis of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields		
Exposure Characteristics	Electric field strength (kV/m)	Magnetic flux density (mT)
Occupational		
Whole working day	10	0,5
Short Term	30	5
For Limbs	-	25
General Public		
Up to 24 hours per day	5	0,1
Few hours per day	10	1

Tabel 2. NAB pada beberapa negara lain dan juga menurut IRPA

Standards and Guidelines on Public Exposure to Transmission Line EMF		
Country	Electric Field	Magnetic Field
Former Czechoslovakia	15 kV/m	-
Japan	3 kV/m	-
UK	12 kV/m	1,6 mT
Former USSR	20 kV/m	-
IRPA	5 kV/m	0,1 mT

4. Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada SUTT dan SUTET

Ruang bebas adalah ruang yang dibatasi oleh bidang vertikal dan horizontal disepanjang konduktor SUTT dan SUTET yang tidak boleh ada benda di dalamnya demi keselamatan manusia, makhluk hidup, dan benda lainnya serta keamanan operasi SUTT dan SUTET (SNI .04-6918-2002).

Jarak bebas minimum vertikal dari konduktor (c) menurut SNI 04-6918-2002 diberikan dalam Tabel 3 serta jarak minimum horizontal dari sumbu vertikal menara/tiang diberikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Jarak bebas minmum vertikal dari konduktor (c)

1. Lapangan Terbuka atau daerah terbuka	8.5 m
2. Daerah dengan keadaan tertentu:	
2.1. Bangunan, jembatan	5.0 m
2.2. Tanaman,tumbuhan, hutan, perkebunan	5.0 m
2.3. Jalan/Jalan raya/rel kereta api	9.0 m
2.4. Lapangan umum	13.5 m
2.5. SUTT lain, SUTR, SUTM, Komunikasi, antena, kereta gantung	4.0 m
2.6. Titik tertinggi tiang kapal pada air pasang tertinggi	4.0 m

Sumber: Standard Nasional Indonesia, SNI 04-6918-2002

Tabel 4 Jarak bebas minimum horizontal dari sumbu vertikal menara/tiang

No	Saluran Udara	L (m)	H (m)	I (m)	Total (m)	Pembulatan (m)
1	SUTT 66 kV tiang baja	1.80	1,37	0,63	3,8	4,00
2	SUTT 66 kV tiang beton	1.80	0,68	0,63	3,11	4,00
3	SUTT 66 kV menara	3,00	2,71	0,63	6,37	7,00
4	SUTT 150 kV tiang baja	2,25	2,05	1,50	5,80	6,00
5	SUTT 150 kV tiang beton	2,25	0,86	1,50	4,61	5,00
6	SUTT 150 kV menara	4,20	3,76	1,50	9,46	10,00
7	SUTET 275 kV sirkit ganda	5,80	5,13	1,80	12,73	13,00
8	SUTET 500 kV sirkit tunggal	12,00	6,16	3,10	21,26	22,00
9	SUTET 500 kV sirkit ganda	7,30	6,16	3,10	15,56	17,00

Sumber: Standard Nasional Indonesia, SNI 04-6918, 2002

Keterangan:

- L : Jarak dari sumbu vertikal menara/tiang ke konduktor
- H : Jarak horizontal akibat ayunan konduktor
- I : Jarak bebas impuls petir (untuk SUTT) atau jarak bebas impuls switching (untuk SUTET)

5. Perhitungan Medan Magnet dan Medan Listrik

5.1 Medan Magnet

Jika arus mengalir pada suatu rangkaian listrik, beberapa sifat rangkaian itu dapat dijelaskan menurut medan magnet dan medan listrik yang timbul di sekitarnya.

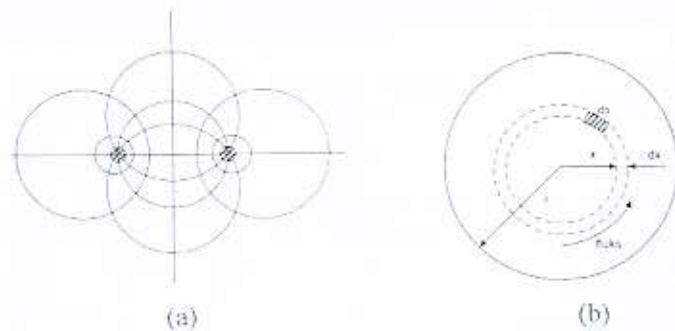
Gambar 2 memperlihatkan suatu saluran fasa tunggal serta medan magnet dan medan listriknya.

Untuk arus bolak-balik berbentuk *sinusoida*, fluks gandengnya juga berbentuk sinusoida. Jika ψ adalah lambang fasor untuk fluks gandeng, maka besar fluks gandeng adalah:

$$\Psi = LI \dots\dots\dots (1)$$

5.2 Induktans Penghantar yang disebabkan oleh Fluks Internal

Gambar 2 (a) hanya memperlihatkan garis fluks yang berada di luar penghantar (*external*). Tetapi sebenarnya sebagian dari medan magnet juga berada di dalam penghantar (*internal*). Untuk mendapatkan nilai induktans yang teliti dari suatu saluran transmisi, baik fluks internal masing-masing penghantar maupun fluks eksternal perlu diperhitungkan. Pada Gambar 2 (b) ditunjukkan sebuah penampang penghantar panjang yang berbentuk silinder.



Gambar 2 (a). Medan magnet dan medan listrik dari suatu rangkaian dua kawat, (b) Penampang suatu penghantar berbentuk silinder

Gaya gerak magnet (mmf) dalam ampere-turns sepanjang jalur tertutup manapun sama dengan arus dalam ampere yang dikelilingi oleh jalur tersebut. Mmf juga sama dengan integral komponen garis singgung dari kuat medan magnet di sepanjang jalur yang sama. (William D. Stevenson, 1983). Dan untuk permeabilitas relatif sama dengan 1, $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m, maka induktans external diberikan oleh persamaan berikut:

$$\psi_{int} = \frac{l}{2} \times 10^{-7} \text{ Wbt/m} \dots\dots\dots (2)$$

$$L_{int} = \frac{1}{2} \times 10^{-7} \text{ H/m} \dots\dots\dots (3)$$

5.3 Fluks Gandeng Antara Dua Titik di Luar Penghantar yang Tersendiri

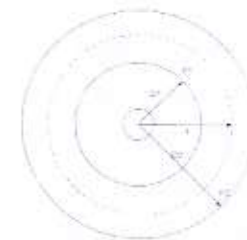
Sebagai langkah untuk menghitung induktans yang disebabkan oleh fluks yang berada di luar konduktor, diturunkan suatu rumus untuk fluks gandeng pada sebuah penghantar yang tersendiri (*isolated*) yang disebabkan oleh bagian dari fluks eksternal yang terletak di antara dua titik pada jarak D_1 dan D_2 meter dari titik tengah penghantar. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Fluks gandeng dan besar induktans yang disebabkan oleh fluks yang berada di antara titik P1 dan P2 diberikan oleh persamaan berikut:

$$\psi_{12} = 2 \times 10^{-7} I \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ Wbt/m} \dots\dots\dots (4)$$

$$L_{12} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ H/m} \dots\dots\dots (5)$$

Besaran yang diberikan oleh persamaan (4) dan (5) masing-masing merupakan nilai fluks eksternal dan induktans eksternal.



Gambar 3. Suatu Penghantar dengan titik eksternal P1 dan P2

5.4 Medan Listrik

Jika dalam perhitungan medan magnet dijelaskan dengan persamaan untuk induktans, maka pada perhitungan medan listrik dapat dijelaskan melalui sifat kelistrikan yaitu *kapasitans*.

Suatu penghantar lurus berbentuk silinder berada dalam media yang seragam (*uniform*) seperti udara, mempunyai muatan seragam di seluruh panjangnya, dan

terisolasi dari muatan-muatan lain sehingga muatan itu terbagi secara merata di seluruh permukaannya, maka fluks akan berbentuk radial. Semua titik yang terletak pada jarak yang sama dari penghantar semacam itu adalah titik-titik equipotensial dan mempunyai kerapatan fluks listrik yang sama seperti ditunjukkan pada Gambar 4 (a).

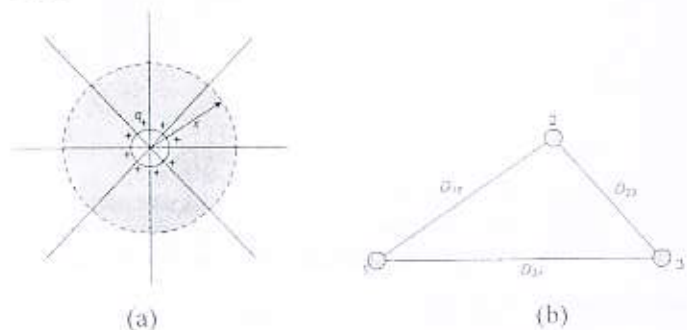
Kerapatan fluks listrik pada jarak x meter dari penghantar dapat dihitung dengan membayangkan suatu permukaan silinder yang konsentris dengan penghantar dan berjari-jari x meter. Kerapatan fluks listrik adalah:

$$D = \frac{q}{2\pi x} \text{ C/m}^2 \dots\dots\dots (6)$$

Dengan q adalah muatan pada penghantar dalam coulomb per meter panjang dan x adalah jarak dalam meter dari penghantar ke titik di mana fluks listrik tersebut dihitung.

Kuat medan listrik, atau negatif dari gradien potensial, sama dengan kerapatan fluks listrik dibagi dengan permitivitas medium. Dan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{q}{2\pi x k} \text{ V/m} \dots\dots\dots (7)$$



Gambar 4 (a). Garis-garis fluks listrik yang berasal dari muatan positif sebuah permukaan penghantar silinder, (b) Penampang saluran tiga fasa dengan jarak pemisah tidak sama

5.5 Kapasitans Saluran Tiga Fasa Dengan Jarak pemisah yang tidak simetris

Jika penghantar pada saluran tiga fasa tidak terpisah dengan jarak yang sama, seperti ditunjukkan pada Gambar 4 (b), perhitungan kapasitans menjadi lebih sulit.

Pada saluran biasa yang tidak ditransposisikan, kapasitans masing-masing fasa ke netral tidak sama.

Untuk saluran yang diperlihatkan dalam Gambar 4 (b), akan memiliki kapasitans saluran ke netral yang dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_n = \frac{q_a}{V_{an}} = \frac{2\pi k}{\ln(D_{eq}/r)} \text{ F/m ke netral,} \dots\dots\dots (8)$$

Selanjutnya reaktans kapasitif saluran ke netral dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C_n} \dots\dots\dots (9)$$

Kapasitans saluran ke netral seperti yang sudah diberikan dalam persamaan (8) maupun (9) akan memberikan arus pemuatan (I_{chg}) ke netral yang besarnya dapat di hitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{chg} = 2\pi f \cdot kV \cdot C_n \dots\dots\dots (10)$$

7. Metode GMD dan GMR

Persamaan-persamaan yang sudah dijelaskan di atas, hanya digunakan pada sistem dengan penghantar tunggal. Untuk sistem dengan lebih dari satu penghantar (sistem 3 fasa) perhitungan induktans akan lebih mudah dengan menggunakan metode GMD (*Geometris Mean Distance*) dan GMR (*Geometris Mean Radius*). Persamaan untuk menghitung fluks gandeng maupun induktans pada dasarnya sama, hanya saja D digantikan dengan GMD dan r digantikan dengan GMR.

Notasi-notasi lain yang digunakan untuk menggantikan GMD adalah D untuk sistem 3 fasa dengan jarak pemisah yang sama, D_{eq} untuk sistem 3 fasa dengan jarak pemisah yang tidak sama. Sedangkan GMR biasanya juga digunakan notasi D_s .

CARA PENELITIAN

Metodologi kuantitatif akan digunakan dalam menghitung prakiraan besar medan listrik dan medan magnet berdasarkan persamaan-persamaan yang sudah

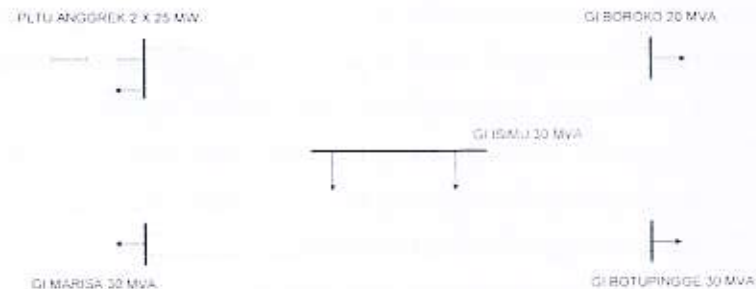
disebutkan dalam landasan teori di atas, sedangkan untuk menganalisis pengaruh radiasi medan listrik dan medan magnet terhadap masyarakat dan lingkungan menggunakan metodologi kualitatif-deskriptif.

Untuk prakiraan besar radiasi medan listrik dan medan magnet diperlukan data-data teknis dari SUTT yang akan dibangun dan juga kapasitas dari rencana Gardu Induk. Sedangkan pengaruh besar radiasi medan listrik dan medan magnet yang berasal dari SUTT 150 kV, maka peneliti menggunakan standar yang dikeluarkan oleh ICNIRP dan WHO tentang Nilai Ambang Batas (NAB) pajanan Medan Listrik dan Medan Magnet.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sistem Tenaga Listrik Yang Ditinjau

Seperti yang sudah dijelaskan pada pendahuluan, bahwa berdasarkan Peraturan Presiden RI No. 71 tahun 2006 di Propinsi Gorontalo akan dibangun PLTU dengan kapasitas 2×25 MW dan akan ditransmisikan menggunakan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV. Diagram satu garis saluran transmisi tenaga listrik Gorontalo diberikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram satu garis saluran transmisi tenaga listrik Gorontalo

Pada setiap Gardu Induk akan dipasang transformator untuk menurunkan tegangan saluran transmisi 150 kV ke tegangan distribusi 20 kV. Kapasitas trafo di setiap Gardu Induk dan panjang saluran diberikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Kapasitas Trafo dan Panjang Saluran

No	GI	Kapasitas Trafo		Panjang Saluran	
		MVA	Jurusan	Km	
1	Isimu	30	Isimu – Botupingge	33.3	
2	Botupingge	30	Isimu – PLTU Anggrek	13.3	
3	Marisa	30	Isimu – Boroko	86	
4	Boroko	20	Isimu – Marisa	110	

Sumber: PT. PLN (Persero) PIKITRING SULMAPA, 2007

Jenis penghantar yang digunakan adalah dari jenis ACSR Hawk dengan spesifikasi teknis diberikan dalam Tabel 6. Ground wire jenis GSW, ukuran 55 mm^2 , dan kekuatan tarik maksimum 1400 kg. Sedangkan tipe tiang tower diberikan pada Tabel 4.3

Tabel 6 Spesifikasi Teknis Penghantar ACSR Hawk

Luas penampang Al / Steel	240/40 mm^2
Diameter keseluruhan	21.8 mm
Jumlah serat Al / Steel	26 / 7
GMR	0.008839 m

Sumber: PT. PLN (Persero) PIKITRING SULMAPA, 2007

2. Hasil Penelitian

Formasi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Gorontalo merupakan rangkaian ganda (*double circuit*), seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Besar Medan Magnet

Untuk saluran dengan formasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 diperoleh nilai-nilai untuk GMD dan GMR sebagai berikut:

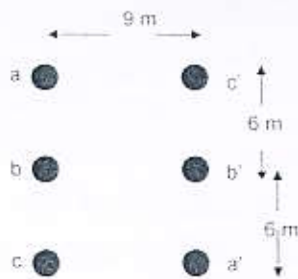
a. GMD antar fasa

$$D_{eq} = \sqrt[3]{8.06 \times 8.06 \times 10.39} = 8.77 \text{ m}$$

b. GMR antar fasa:

GMR penghantar ACSR 240/40 berdasarkan Tabel 6 adalah 0.008839 m, selanjutnya dapat dihitung GMR untuk rangkaian 3 fasa paralel adalah:

$$D_r^p = \sqrt[3]{0.364 \times 0.282 \times 0.364} = 0.334 \text{ m}$$



Gambar 6. Formasi saluran rangkaian ganda

Kerapatan fluks (*flux density*) untuk rangkaian ganda (paralel) 3 fasa diperoleh dari perhitungan fluks gandeng per satuan panjang pada jarak *x* meter dari penghantar menggunakan persamaan (9)

$$\psi_{12} = 2 \times 10^{-7} I \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ Wbt/m}$$

Dengan D_2 dan D_1 berturut-turut adalah D_{eq} dan D_s yang diperoleh pada perhitungan GMD dan GMR. Dan I adalah arus yang mengalir pada penghantar. Selanjutnya dengan memasukkan nilai-nilai di atas ke dalam persamaan (5) didapatkan besar fluks gandeng per satuan panjang sebagai berikut:

$$\psi = 2 \times 10^{-7} I \ln \frac{D_2}{D_1} = 2 \times 10^{-7} I \ln \frac{8,77}{0,334} = 6,536 \times 10^{-7} I \text{ Wb/m}$$

Kerapatan fluks (*B*) adalah besar fluks gandeng per satuan panjang dalam jarak 1 meter dari penghantar (saluran) maka diperoleh:

$$B = \psi/m = 6,536 \times 10^{-7} I \text{ Wb/m}^2$$

Kerapatan fluks di atas masih merupakan fungsi arus saluran, dengan kata lain kerapatan fluks bergantung pada besar arus yang mengalir pada saluran. Besar arus saluran itu sendiri bergantung pada beban yang ada dalam sistem. Jika diasumsikan bahwa beban maksimum pada setiap ujung saluran transmisi adalah setara dengan kapasitas trafo yang ada pada setiap Gardu Induk, dan trafo di GI dibebani sebesar 80% dari kapasitas terpasang maka dapat diprediksi besar medan magnet yang ditimbulkan oleh SUTT sebagai berikut:

➤ PLTU Anggrek – GI Isimu

Berdasarkan data yang diberikan oleh Tabel 5, kapasitas trafo terpasang adalah 30 MVA. Jika beban adalah 80% dari 30 MVA = 24 MVA, maka arus saluran adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{24 \times 10^6}{150 \times 10^3} = 160 \text{ amp}$$

Dan diperoleh kerapatan fluks (*B*) adalah:

$$B = 6,536 \times 10^{-7} \times 160 = 0,000105 \text{ Wb/m}^2 = 0,105 \text{ mT}$$

Besar Medan Listrik

Pada perhitungan medan magnet menggunakan GMR kawat penghantar seperti yang diberikan pada data teknis penghantar, sedangkan GMR untuk medan listrik dihitung berdasarkan diameter keseluruhan dari penghantar ACSR yang digunakan, yakni 21,8 mm.

- Jari-jari *r* adalah $21,8/2 = 10,9 \text{ mm} = 0,0109 \text{ m}$
- $D_{eq} = 8,77 \text{ m}$ (seperti pada perhitungan untuk medan magnet)
- $D_s' = \sqrt[3]{(15 \times 0,0109) \times (9 \times 0,0109) \times (15 \times 0,0109)} = 0,138 \text{ m}$

Dengan memasukkan nilai-nilai GMD dan GMR di atas kedalam persamaan (8) diperoleh kapasitas saluran ke netral sebagai berikut:

$$C_n = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{D_{eq}}{D_s'}} = \frac{2 \times 3,14 \times 8,85 \times 10^{-12}}{\ln \frac{8,77}{0,138}} = 1,339 \times 10^{-11} \text{ F/m}$$

Selanjutnya dihitung arus pengisian saluran dalam Amp/m sebagai berikut:

$$I_{chg} = 2\pi f \cdot kV \cdot C_n = 2 \times 3,14 \times 50 \times \frac{150000}{\sqrt{3}} \times 1,339 \times 10^{-11} = 0,000364$$

Amp/m

Dan untuk tower dengan tinggi minimum dari ARM terbawah yakni 16,5 m, maka arus pengisian adalah: 0,006 ampere. Reaktans kapasitif dalam ohm.meter dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C_n} = 237842671,8 \text{ } \Omega.m$$

Selanjutnya dapat dihitung kuat medan listrik (kV/m) untuk setiap saluran sebagai berikut:

➤ PLTU Anggrek – GI Isimu

Untuk anjang saluran 13.3 km = 13300 m, maka

- Arus pengisian dalam ampere = 0.006 ampere

$$- X_c = \frac{237842671.8}{13300} = 17882.9 \Omega$$

$$- \text{Tegangan induksi} = I_{chg} \times X_c = 0.006 \times 17882.9 \Omega = 107.3 \text{ V} = 0.1073 \text{ kV}$$

Kuat medan listrik dalam V/m diperoleh dengan membagi besar tegangan induksi dengan jarak x meter dari penghantar,

Hasil perhitungan besar Medan Magnet dan Medan Listrik untuk semua jurusan dan jarak x meter dari penghantar selengkapnya diberikan dalam Tabel 7 s/d Tabel 10

Tabel 7. Kuat medan magnet dan medan listrik SUTT 150 kV sistem Gorontalo jurusan PLTU Anggrek – GI Isimu

Jarak x meter dari penghantar dibawah	Kuat medan magnet (mT)	Kuat Medan Listrik (kV/m)
1	0.105	0.107
2	0.053	0.054
3	0.035	0.036
5	0.021	0.021
10	0.011	0.011
15	0.007	0.007
16.5	0.006	0.006

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 8 Kuat medan magnet dan medan listrik SUTT 150 kV sistem Gorontalo jurusan PLTU GI Isimu – GI Marisa

Jarak x meter dari penghantar dibawah	Kuat medan magnet (mT)	Kuat Medan Listrik (kV/m)
1	0.105	0.0123
2	0.053	0.006
3	0.035	0.004
5	0.021	0.002
10	0.011	0.001
15	0.007	0.0008
16.5	0.006	0.0007

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 9. Kuat medan magnet dan medan listrik SUTT 150 kV sistem Gorontalo jurusan PLTU GI Isimu – Botupingge

Jarak x meter dari penghantar dibawah	Kuat medan magnet (mT)	Kuat Medan Listrik (kV/m)
1	0.105	0.0432
2	0.053	0.0216
3	0.035	0.0144
5	0.021	0.0086
10	0.011	0.0043
15	0.007	0.0029
16.5	0.006	0.0026

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 10. Kuat medan magnet dan medan listrik SUTT 150 kV sistem Gorontalo jurusan PLTU GI Isimu – GI Boroko

Jarak x meter dari penghantar dibawah	Kuat medan magnet (mT)	Kuat Medan Listrik (kV/m)
1	0.069	0.0166
2	0.035	0.0083
3	0.023	0.0055
5	0.014	0.0033
10	0.007	0.0017
15	0.005	0.0011
16.5	0.004	0.0010

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan medan magnet di atas, untuk semua jurusan menunjukkan bahwa besar medan magnet masih di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) berdasarkan standar SNI, WHO dan ICNIRP yakni sebesar 0.1 mT. Begitu juga untuk kuat medan listrik pada setiap jarak x meter dari penghantar besarnya < 5 kV/m. Kecuali untuk jurusan PLTU Anggrek – GI Isimu, GI Isimu – GI Marisa, dan GI Isimu – GI Botupingge diperoleh besar medan magnet dalam jarak 1 meter dari penghantar dibawah adalah sebesar 0.105 mT. Namun medan magnet ini tidak berbahaya pada lingkungan karena jarak 1 meter dari penghantar masuk ke dalam ruang bebas SUTT.

KESIMPULAN

1. Besar medan magnet yang ditimbulkan oleh SUTT 150 kV sistem Gorontalo berkisar antara 0.004 mT – 0.105 mT, sedangkan untuk medan listrik berkisar antara 0.001 kV/m – 0.107 kV/m.

2. Berdasarkan standar SNI, WHO dan ICNIRP besar medan magnet dan medan listrik masih di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) sehingga masih aman untuk manusia dan lingkungan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Busby, K 1914. *A Field Survey of Farmer Experience with 165 KV Transmission Lines*, Albany, New York, USA.
- Direktorat Jenderal PPM & PL Departemen Kesehatan RI 2002. Bahan Penyuluhan Radiasi Pengion dan Non Pengion. Departemen Kesehatan RI, Jakarta
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, Health Physics* 74 (4): 494-522 (1998). Available online at: <http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>.
- Savitz, DA 1987. *Case-Control Study of Childhood Cancer and Residential Exposure to Electric and Magnetic fields*. Albany, New York State Power Lines Project.
- SNI 04-6918-2002, Ruang Bebas dan Jarak Minimum pada SUTT dan SUTET. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 04-6950-2003, SUTT dan SUTET - Nilai ambang batas medan listrik dan medan magnet. Badan Standardisasi Nasional
- Wertheimer, N and Leeper, E. 1979. *Electrical Wiring Configuration and Childhood Cancer*, *American Journal of Epidemiology* 109:273-284
- WHO, 1982. *Electric and magnetic fields at power frequencies, with particular reference to 50 and 60 Hz*. Regional Publication, Europe Series, number 10.
- William D. Stevenson, Jr., 1983. *Analisis Sistem Tenaga Listrik. Edisi keempat*. Erlangga, Jakarta.