

ANALISA PENGARUH KUAT MEDAN LISTRIK TERHADAP JARAK AMAN DI BAWAH BUSBAR GARDU INDUK 150kV

Herawati Ys¹, Nur Ahkadun²

Jurusan Teknik Elektro, Teknik Tenaga Listrik, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung

Abstrak

Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisa pengaruh kuat medan listrik terhadap jarak aman di bawah busbar gardu induk 150kV. Penelitian dilakukan pada 3 gardu induk 150kV. Nilai ambang batas paparan medan listrik sesuai SNI, ICNIRP, IRPA/INIRP dan WHO adalah 10kV/m untuk masyarakat pekerja. Jarak andongan terendah konduktor busbar ke permukaan tanah 7,5m. Dilakukan pengukuran dan perhitungan kuat medan listrik melintang dari busbar 1 ke busbar 2. Ketinggian titik uji 0m sampai 2,3m dari permukaan tanah.. Dari hasil pengukuran dan perhitungan kuat medan listrik diperoleh bahwa untuk ketinggian titik uji 2,3 m dari permukaan tanah, kuat medan listrik maksimum diperoleh diantara busbar 1 dan busbar 2. Dari hasil pengukuran kuat medan listrik diperoleh bahwa: jarak aman minimum terpendek 7,88m sedangkan jarak aman minimum tertinggi 7,98m. Dari hasil perhitungan kuat medan listrik diperoleh bahwa jarak aman minimum terpendek 7,48m, sedangkan jarak aman minimum tertinggi 7,88m. Dari hasil pengukuran kuat medan listrik diperoleh bahwa durasi paparan kuat medan listrik tercepat 4,42 jam sedangkan durasi paparan kuat medan listrik terlama 5,75 jam. Dari hasil perhitungan kuat medan listrik diperoleh bahwa: durasi paparan medan listrik tercepat 7,56 jam sedangkan durasi paparan kuat medan listrik terlama 7,91 jam.

Kata kunci: Pengaruh kuat medan listrik, busbar, andongan, durasi, jarak aman

Abstract

This study is intended to analyze the effect of electric field strength on the safe distance under the 150kV substation busbar. The study was conducted at 3 150kV substations. The electric field exposure threshold value according to SNI, ICNIRP, IRPA/INIRP and WHO is 10kV / m for the working community. The lowest distance of the busbar conductor to the ground surface is 7.5m. Measurements and calculations of transverse electric field strength from busbar 1 to busbar are measured and the test point height is 0m to 2.3m from the ground surface. From the measurement results and the calculation of the electric field strength it is obtained that for the height of the test point 2.3 m above ground level. maximum electric field strength is obtained between busbar 1 and busbar 2. From the results of measurements of electric field strength, it is found that: the minimum safe distance is 7.88m while the minimum safe distance is 7.98m. From the results of the calculation of the electric field strength obtained that the minimum safe distance is 7.48m, while the highest minimum safe distance is 7.88m. From the results of the measurements of the electric field strength obtained that the duration of exposure to the strongest electric field is 4.42 hours while the duration of electric field exposure is the longest 5.75 hours. From the results of the electric field calculation it was obtained that: the duration of the electric field exposure was the fastest 7.56 hours while the duration of the electric field exposure was the longest 7.91 hours.

Key words: Effect of electric field strength, busbar, support, duration, safe distance

1. PENDAHULUAN

Konsumsi listrik telah meningkat selama beberapa dekade. Medan listrik dan medan magnet dari sistem tenaga telah menjadi masalah penting. Alasan untuk ini adalah kekhawatiran publik tentang risiko kesehatan yang mungkin ditimbulkan oleh medan listrik dan medan magnet tersebut.[1]

The Internasional Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) telah menerbitkan pedoman baru tentang paparan pekerjaan yang aman terhadap EMF frekuensi daya. Sesuai ICNIRP tahun 2010 untuk frekuensi 50Hz, nilai ambang batas paparan medan listrik sebesar 5kV/m untuk masyarakat umum dan 10kV/m untuk masyarakat pekerja, sedangkan nilai ambang batas paparan medan magnet sebesar 200 μ T untuk masyarakat umum dan 1000 μ T untuk masyarakat pekerja.[2]

Sesuai IRPA/INIRP 1990, WHO 1989 dan SNI 04-6950-2003 untuk nilai ambang batas paparan medan listrik dan magnet untuk frekuensi rendah, nilai ambang batas paparan medan listrik sebesar 5kV/m untuk masyarakat umum dan 10kV/m untuk masyarakat pekerja, sedangkan nilai ambang batas paparan medan magnet sebesar 0,1mT untuk masyarakat umum dan 0,5mT untuk masyarakat pekerja.[3,4,5]

Korpinen, Kuisti, Paakonnen, Vanhala dan Elovaara (2011) menyatakan bahwa nilai rata-rata pengukuran kuat medan listrik di gardu induk 110kV sebesar 3,6kV/m dan nilai maksimum kuat medan listrik sebesar 15,5kV/m.[6]

M. Shaalan, M. Ghania, A.Ward (2012) menyatakan intensitas medan listrik lebih dari 10kV/m di sebagian

besar area switchyard gardu induk 500kV ; melebihi dari nilai ambang batas ICNIRP.[7]

H. Ahmadi, S. Mohseni, A. A. Shayegani Akmal (2010) menyatakan intensitas medan listrik di atas 10kV / m telah diukur di bawah transmisi 230kV. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada masalah serius bagi orang-orang yang tinggal di sekitarnya saluran transmisi tersebut.[8]

Lovstand, K. G. (1976) melakukan penelitian efek elektrofisika terkait dengan tegangan ekstra tinggi untuk penentuan paparan medan listrik terhadap personil di gardu induk. Ternyata terdapat arus kapasitif yang mengalir ke manusia. Distribusi arus kapasitif ini digunakan untuk mengukur efektifitas pakaian pelindung terhadap medan listrik.[9]

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran dan perhitungan kuat medan listrik di gardu induk 150kV dengan busbar ganda, 6 konduktor horizontal, jarak antar busbar 6,5m, dan jarak antar fasa 3,75m.[10]

Berdasarkan latar belakang diatas ,penting dilakukan penelitian secara analisa dan perhitungan terhadap besarnya kuat medan listrik dibawah busbar 150kV.

Tujuan dari penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui besarnya kuat medan listrik di bawah busbar gardu induk 150kV.
- Mengetahui perubahan kuat medan listrik terhadap jarak aman di bawah busbar gardu induk 150kV.
- Mengetahui standar jarak aman di bawah busbar gardu induk 150kV berdasarkan kuat medan listrik.

- Mengetahui standar waktu yang diperbolehkan untuk bekerja di bawah busbar gardu induk 150kV.

1.1 Tinjauan Pustaka

Pengertian Gardu Induk

Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu pusat pembangkit energi listrik, bagian penyaluran, dan konsumen pemakai energi listrik. Bagian penyaluran berperan menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit kepada konsumen, terdiri atas transmisi, gardu induk, dan jaringan distribusi[11].

Fungsi dari gardu induk adalah sebagai berikut:

- Mentransformasikan tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya.
- Pengukuran, pengawasan operasi, dan pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
- Pengaturan daya ke gardu-gardu lain baik melalui tegangan tinggi atau tegangan menengah.

Medan Listrik

Medan listrik adalah daerah di sekitar benda bermuatan listrik yang masih mengalami gaya listrik. Jika muatan lain berada di dalam medan listrik dari sebuah benda bermuatan listrik, muatan tersebut akan mengalami gaya listrik berupa gaya tarik atau gaya tolak-menolak. Medan listrik adalah gaya listrik per satuan muatan.

Hukum Coulomb

Kolonel Charles Augustin Coulomb (1736-1806), adalah orang yang pertama kali yang melakukan percobaan tentang muatan listrik statis.

Coulomb menyatakan bahwa gaya yang terdapat di antara dua buah objek yang sangat kecil, berada di dalam ruang hampa dan saling dipisahkan oleh jarak yang relatif besar dibandingkan ukurannya sebanding dengan muatan pada masing-masing objek dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya yang dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan 2.1[15]

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{R^2}$$

Dimana Q_1 dan Q_2 adalah nilai – nilai positif atau negatif muatan listrik pada kedua objek, R adalah jarak antara kedua objek, dan k adalah sebuah konstanta kesebandingan. Apabila kita menggunakan Sistem Satuan Internasional(SI), maka Q dinyatakan dalam Coulomb(C), R dalam meter(m) dan gaya diukur dalam Newton(N).

Intensitas Medan Listrik

Intensitas medan listrik, dengan demikian menjabarkan gaya yang dialami oleh sebuah muatan uji bernilai satu satuan muatan positif. Intensitas medan listrik dilambangkan dengan huruf E dan dalam satuan SI medan listrik diukur dalam satuan Newton per Coulomb (N/C) dan satuan lain yang sering digunakan adalah volt per meter (V/m) sehingga dalam persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

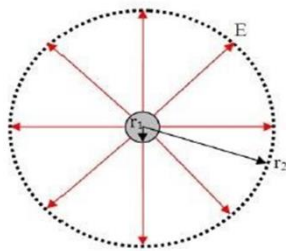
$$E = \frac{F_t}{Q_t} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R_{1t}^2} a_{1t}$$

Beda Potensial Listrik

Beda potensial (V) didefinisikan sebagai kerja yang dilakukan (oleh suatu sumber eksternal) dalam memindahkan sebuah muatan satuan

positif dari satu titik ke titik lainnya di dalam medan listrik. Dalam perhitungan medan listrik, beda potensial antara konduktor dengan muatan di luar konduktor dikatakan sebagai V_{12} yang berarti energi yang diperlukan per satuan muatan untuk memindahkan sebuah muatan dari r_2 menuju r_1 .

Gambar Medan Listrik Pada Konduktor Silinder



Misalkan $r_2 > r_1$, maka beda potensial ini merupakan integral garis E_r dari r_2 menuju r_1 . Potensial di r_1 akan lebih tinggi daripada potensial di r_2 , jika muatan garisnya positif, Maka:

$$V_{21} = - \int_{r_2}^{r_1} E_r dr = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Atau

$$V_{21} = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0} [\ln r]_{r_1}^{r_2} = \frac{\rho_L}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

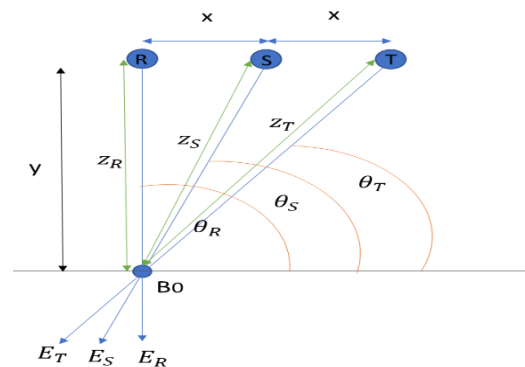
Prinsip Superposisi Medan Listrik

Untuk mencari intensitas medan listrik (E) yang dihasilkan oleh sekumpulan muatan titik yaitu dapat dilakukan dengan menghitung E_n yang dihasilkan oleh setiap muatan titik yang diberikan dengan menganggap seakan-seakan tiap muatan tersebut adalah satu-satunya muatan yang hadir, setelah itu medan-medan listrik yang telah dihitung secara terpisah ini dijumlahkan secara vektor untuk mencari resultan medan E pada titik tersebut yang dapat dilihat dalam persamaan berikut:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots = \sum E_n$$

Perhitungan Kuat Medan Listrik Di Sekitar Konduktor Silinder

Tegangan tinggi yang diterapkan pada transmisi daya listrik menghasilkan medan listrik yang kuat. Pada gambar 2.11 menunjukkan kuat medan listrik titik B_0 di bawah saluran transmisi,



Agar dapat menghitung kuat medan listrik di titik B_0 seperti pada gambar 2.11 terlebih dahulu harus diketahui :

- Harga x , jarak pemisah horizontal antar konduktor penghantar busbar,
- Harga y , ketinggian konduktor busbar dari titik yang ditinjau,
- Harga r , jari-jari konduktor yang dipakai,
- Harga z , jarak titik uji ke konduktor busbar,
- Untuk busbar ganda, perlu diketahui jarak antar busbar

$$\begin{aligned} z_R &= y \\ z_S &= \sqrt{y^2 + x^2} \\ z_T &= \sqrt{(2x)^2 + y^2} \end{aligned}$$

Dan sudut yang dibentuk oleh vektor E terhadap sumbu horizontal adalah

$$\begin{aligned} \theta_R &= 90^\circ \\ \theta_S &= \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \\ \theta_T &= \tan^{-1} \left(\frac{y}{2x} \right) \end{aligned}$$

Untuk memperoleh persamaan yang menyatakan hubungan antara kuat medan listrik dengan tegangan konduktor silinder maka persamaan 2.16 dan persamaan 2.17 disubstitusi. Persamaan 2.16 menyatakan

$$E_r = \frac{\rho L}{2\pi\epsilon_0 r}$$

Atau

$$\frac{\rho L}{2\pi\epsilon_0} = E_r r$$

Misal titik uji berada pada jarak z dari pusat lingkaran, maka persamaan di atas menjadi :

$$\frac{\rho L}{2\pi\epsilon_0} = E_z z$$

Persamaan 2.25 disubstitusikan ke persamaan 2.17 sehingga diperoleh

$$V_{21} = E_z z \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$E_z = \frac{V_{21}}{z \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

Persamaan 2.26 inilah yang dipakai untuk menghitung kuat medan listrik di sekitar konduktor silinder. Dari persamaan 2.26 dapat disederhanakan untuk mempermudah perhitungan menjadi:

$$E = \frac{V}{z \ln \frac{h}{r}}$$

dimana :

E = kuat medan listrik disekitar konduktor silinder,

V = tegangan fasa ke netral,

h = ketinggian konduktor penghantar dari permukaan tanah,

r = jari-jari konduktor,

z = jarak konduktor ke titik yang diamati.

Jika dimisalkan tegangan antar fasa sebagai berikut:

$$V_{Rl-l} = V_{Sl-l} = V_{Tl-l} = V_{l-l}$$

maka tegangan fasa ke netral adalah:

$$V_R = V_S = V_T = \frac{V_{l-l}}{\sqrt{3}}$$

Maka, kuat medan listrik di titik P1 akibat masing-masing konduktor fasa adalah:

$$E_R = \frac{V_R}{z_R \ln \frac{h}{r}}$$

$$E_S = \frac{V_S}{z_S \ln \frac{h}{r}}$$

$$E_T = \frac{V_T}{z_T \ln \frac{h}{r}}$$

Nilai E ini harus diubah terlebih dahulu ke komponen sumbu x dan y agar dapat dijumlahkan. Adapun harga E di sumbu x adalah sebagai berikut:

$$E_{R(x)} = \frac{V_R}{z_R \ln \frac{h}{r}} \cos(\theta_R)$$

$$E_{S(x)} = \frac{V_S}{z_S \ln \frac{h}{r}} \cos(\theta_S)$$

$$E_{T(x)} = \frac{V_T}{z_T \ln \frac{h}{r}} \cos(\theta_T)$$

dan harga E di sumbu y adalah:

$$E_{R(y)} = \frac{V_R}{z_R \ln \frac{h}{r}} \sin(\theta_R)$$

$$E_{S(y)} = \frac{V_S}{z_S \ln \frac{h}{r}} \sin(\theta_S)$$

$$E_{T(y)} = \frac{V_T}{z_T \ln \frac{h}{r}} \sin(\theta_S)$$

Kemudian, sesuai prinsip superposisi, harga-harga E di sumbu x dijumlahkan sebagai berikut:

$$E_x = E_{Rx} + E_{Sx} + E_{Tx}$$

Demikian juga dengan harga-harga E di sumbu y dijumlahkan sebagai berikut:

$$E_y = E_{Ry} + E_{Sy} + E_{Ty}$$

Selanjutnya, untuk memperoleh E total (E_{tot}) pada titik P1, maka harga E_x dan

E_y tersebut dijumlahkan secara vektoris sebagai berikut:

$$E_{tot}^2 = E_x^2 + E_y^2$$

Batas Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet

Berikut adalah batas paparan medan listrik dan medan magnet 50-60 Hz berdasar rekomendasi IRPA/INIRP Tahun 1990, WHO Tahun 1989, dan SNI 04-6950-2003

Tabel 2.1 Rekomendasi IRPA/INIRC 1990 dan WHO tahun 1989, dan SNI 04-6950-2003 [3,4,5]

Klasifikasi	Kuat Medan Listrik (kV/m)	Kuat Medan Magnet (mT)
Masyarakat pekerja		
Seluruh hari kerja	10	0.5
Jangka pendek	30 ^{a)}	5 ^{b)}
Hanya pada lengan	-	25
Masyarakat umum		
Sampai 24 jam/hari ^{c)}	5	0.1
Beberapa jam/hari ^{d)}	10	1

Catatan:

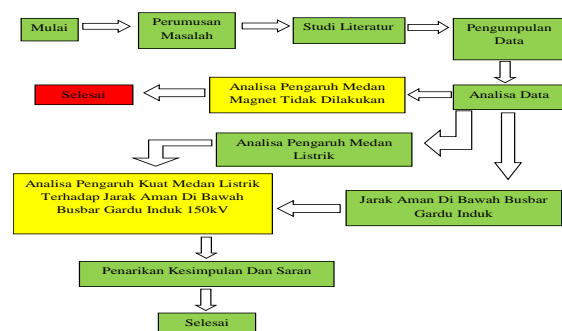
- Durasi paparan kuat medan listrik antara 10-30 kV/m dapat dihitung dengan rumus : $t \leq 80 / E$ dimana t = lama *exposure* (jam) dan E = Kuat medan listrik (kV/m)
- Durasi paparan maksimum per hari adalah 2 jam
- Pembatasan ini berlaku untuk ruang terbuka dimana anggota masyarakat umum dapat secara wajar diperkirakan menghabiskan sebagian besar waktu selama satu hari, seperti misalnya kawasan

rekreasi, lapangan untuk bertemu dan lain-lain yang semacam itu.

- Nilai kuat medan listrik dan kuat medan magnet dapat dilampaui untuk durasi beberapa menit/hari asalkan diambil tindakan pencegahan untuk mencegah efek kopling tak langsung.

Mengingat paparan medan listrik terus menerus untuk pekerja harus dibatasi hingga 10 kV/m, menginduksi kepadatan saat ini rata-rata 4 mA/ m². Ada pengalaman kerja yang substansial selain studi laboratorium terkontrol pada sukarelawan yang menunjukkan bahwa paparan jangka pendek ke lapangan hingga 30 kV / m tidak memiliki konsekuensi kesehatan yang merugikan yang signifikan. Paparan medan listrik antara 10kV/m dan 30 kV/m menghasilkan peningkatan ketidaknyamanan dan stres secara proporsional dan harus dibatasi durasinya. Pendekatan praktis untuk membatasi durasi paparan medan listrik antara 10kV/m dan 30 kV/m adalah dengan menggunakan rumus $t < 80 / E$ selama seluruh hari kerja, di mana t adalah durasi paparan dalam jam dan kuat medan listrik(E) dalam kV/m.[5]

2. METODE PENELITIAN

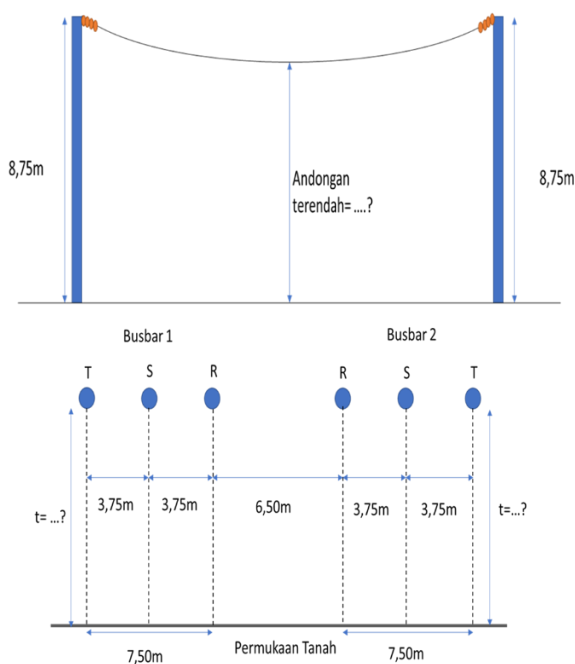


3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi Penelitian

Uraian	Gardu Induk Rancakasumba	Gardu Induk Rancaekek	Gardu Induk Cikasungka
Tegangan Sistem	150kV	150kV	150kV
Sistem Busbar	Busbar Ganda	Busbar Ganda	Busbar Ganda
Konduktor	AAC"lupine" 1 x 1267 mm ²	AAC"lupine" 1 x 1267 mm ²	AAC"lupine" 1 x 1267 mm ²
Diameter Konduktor	46,30mm	46,30mm	46,30mm
Jarak Antar Fasa	3,75m	3,75m	3,75m
Jarak Antar Busbar	6,50m	6,50m	6,50m
Tinggi busbar	8,75m	8,75m	8,75m

Kondisi Busbar



Jarak Aman

Berdasarkan persamaan 2.30 maka diperoleh tegangan fasa ke netral berikut :

$$V_{\text{fasa-netral}} = \frac{150kV}{\sqrt{3}} = 86,60254kV$$

dengan nilai ambang batas paparan medan listrik untuk masyarakat pekerja sebesar 10kV/m, diperoleh jarak aman minimum: $\frac{86,60254}{10} = 8,60254m$

Sesuai tabel 4.1 tinggi busbar 8,75m, dibandingkan dengan jarak aman minimum secara perhitungan yang

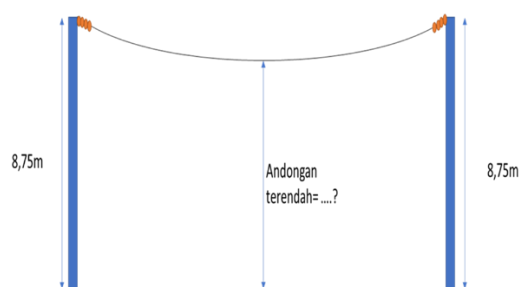
sebesar 8,6m maka, jarak aman di bawah busbar tidaklah aman untuk pekerja bila dikurangi tinggi pekerja.

Berdasar pertimbangan jarak aman, cara pengoperasian alat ukur medan listrik, dan jangkauan peneliti dalam pengukuran medan listrik yang terbatas, maka peneliti membatasi daerah pengukuran dan perhitungan medan listrik 0 cm sampai dengan 230 cm dari permukaan rata-rata tanah.

Andongan Terendah

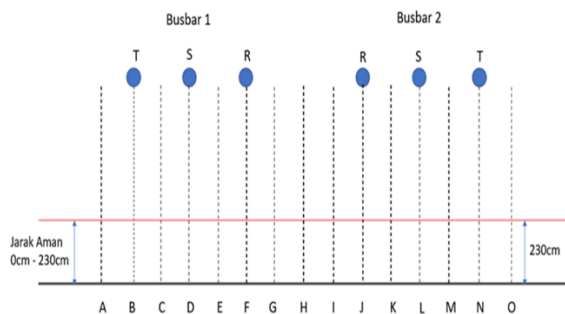
Andongan terendah konduktor busbar ke tanah diperlukan sebagai salah satu variabel dalam perhitungan kuat medan listrik di bawah busbar gardu induk.

Pengukuran andongan terendah konduktor busbar dilakukan di tengah gawang busbar gardu induk. Pelaksanaan pengukuran dengan metode langsung yaitu melihat hasil pengukuran dari alat ukur. Pengukuran dimulai dari konduktor busbar 1 menuju busbar 2 tepat di bawah konduktor busbar. Pengukuran dilakukan di setiap fasa konduktor busbar dengan alat bantu Laser Distance Meter.





Penentuan titik ukur/uji medan listrik

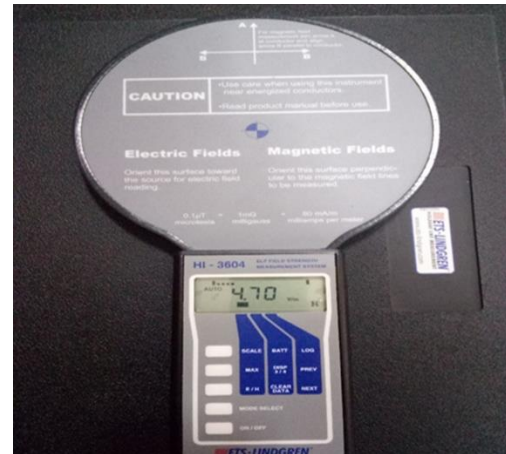


Dimana :

- Jarak AB, FG, GH, HI, IJ, NO adalah 162,5cm
- Jarak BC, CD, DE, EF, JK, KL, LM, MN adalah 187,5cm
- Kelompok titik dibagi menjadi 11 titik pengukuran dengan interval 10cm, misal : Kelompok titik A terdiri dari A0 sampai dengan A23

Pengukuran Kuat Medan Listrik

Pengukuran kuat medan listrik dilakukan di bawah busbar gardu induk sesuai dengan titik pengukuran yang sudah ditentukan sebelumnya. Pelaksanaan pengukuran dengan metode langsung yaitu melihat hasil pengukuran dari alat ukur. Pengukuran dimulai dari busbar 1 menuju busbar 2 yaitu dari titik A menuju titik O di bawah konduktor busbar.



Perhitungan Kuat Medan Listrik

Persamaan untuk menghitung kuat medan listrik di sekitar konduktor silinder :

$$E = \frac{V}{z \ln \frac{h}{r}}$$

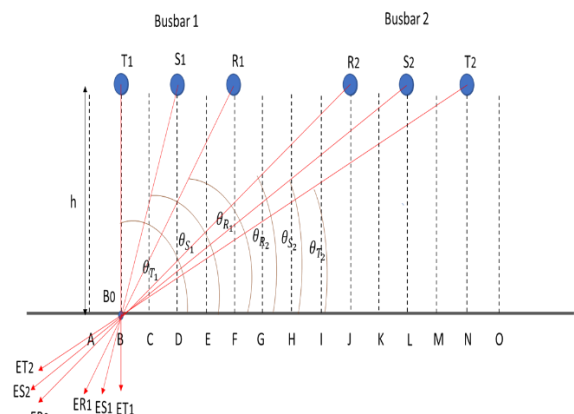
E = kuat medan listrik disekitar konduktor silinder,

V = tegangan fasa ke netral,

h = ketinggian konduktor penghantar dari permukaan tanah,

r = jari-jari konduktor,

z = jarak konduktor ke titik yang diamati.



Tegangan fasa-fasa dan fasa-netral

Gardu Induk	Busbar 1		Busbar 2	
	Tegangan rata-rata	Tegangan fasa ke	Tegangan rata-rata	Tegangan fasa ke
	line ke line	netral	line ke line	netral
Rancakasumba	151,18kV	87,28381kV	151,70285kV	87,58568kV
Rancaekek	145,28571kV	83,88074kV	145,28571kV	83,88074kV
Cikasungka	152kV	87,75724kV	152kV	87,75724kV

Dimana V_p = tegangan fasa ke netral =
Tegangan line ke line
 $\sqrt{3}$

Perhitungan kuat medan listrik selengkapnya untuk titik A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N,O dilakukan dengan bantuan program Microsoft Excel

Hasil Pengukuran Medan Listrik

- GI Rancakasumba

No	Titik Pengukuran (kV/m)														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
0	0,80	1,37	2,17	1,52	1,22	1,33	1,64	1,03	1,25	1,42	1,35	1,01	1,60	1,76	1,08
1	0,85	2,06	2,28	1,81	1,46	1,56	1,99	1,09	1,58	1,53	1,40	1,35	1,81	2,03	1,32
2	0,90	2,76	2,40	2,10	1,70	1,80	2,34	1,16	1,92	1,64	1,46	1,69	2,02	2,30	1,56
3	1,08	2,90	3,08	2,50	2,04	2,34	2,86	1,88	2,55	2,27	1,72	1,98	2,50	2,84	1,77
4	1,26	3,05	3,76	2,90	2,38	2,88	3,38	2,60	3,18	2,90	1,98	2,28	2,99	3,38	1,98
5	1,44	3,57	4,21	3,35	2,76	3,08	4,17	3,60	4,39	3,43	2,39	2,55	3,55	4,34	2,09
6	1,63	4,10	4,67	3,80	3,15	3,28	4,97	4,60	5,60	3,96	2,80	2,83	4,12	5,30	2,21
7	2,11	4,70	5,48	4,10	3,38	3,77	6,12	5,73	5,81	4,43	3,20	3,18	4,86	5,87	2,70
8	2,60	5,30	6,30	4,40	3,62	4,27	7,28	6,86	6,03	4,90	3,60	3,53	5,60	6,45	3,20
9	2,93	5,45	6,75	4,84	3,94	4,98	7,82	7,87	6,79	5,59	3,81	4,01	6,02	7,07	3,52
10	3,26	5,60	7,20	5,28	4,26	5,70	8,37	8,88	7,55	6,28	4,02	4,50	6,45	7,70	3,84
11	4,09	6,33	7,70	5,90	4,50	6,25	9,13	9,46	8,51	6,81	4,22	4,73	6,89	8,37	3,97
12	4,46	7,06	8,20	6,53	4,75	6,80	9,90	9,99	9,48	7,35	4,42	4,97	7,33	9,05	4,10
13	4,90	7,38	8,66	6,85	5,27	7,55	10,94	11,03	10,28	7,95	4,65	5,16	8,25	9,52	4,46
14	5,11	7,71	9,12	7,18	5,80	8,30	11,98	12,03	11,08	8,56	4,89	5,36	9,17	9,99	4,83
15	5,35	8,15	9,84	7,46	6,03	8,83	12,85	13,20	11,89	9,07	5,26	5,67	9,75	10,84	4,97
16	5,50	8,60	10,56	7,75	6,26	9,36	13,73	14,38	12,70	9,58	5,63	5,98	10,33	11,69	5,12
17	5,77	9,13	10,68	8,01	6,28	10,09	14,66	15,33	13,93	10,28	6,22	6,10	11,12	12,46	5,37
18	6,05	9,67	10,80	8,28	6,30	10,83	15,60	16,28	15,20	10,98	6,82	6,23	11,92	13,23	5,62
19	6,27	10,18	11,39	8,52	6,35	11,56	16,46	16,88	16,40	11,53	6,94	6,79	12,19	13,74	5,95
20	6,50	10,70	11,98	8,76	6,40	12,30	17,33	17,49	17,40	12,08	7,06	7,35	12,46	14,26	6,28
21	7,03	11,44	12,61	8,89	6,60	12,95	18,01	18,64	18,55	12,74	7,13	8,15	13,31	14,93	6,57
22	7,56	12,18	13,24	9,03	6,80	13,60	18,70	19,80	19,50	13,40	7,20	8,96	14,16	15,60	6,86
23	8,30	12,93	14,11	9,28	7,00	14,11	19,90	21,30	21,01	13,68	7,40	9,36	14,50	16,30	7,20

GI Rancaekek

No	Titik Pengukuran (kV/m)														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
0	1,34	1,96	1,70	1,59	1,21	1,45	1,98	1,30	1,99	1,34	1,12	1,05	1,55	1,35	1,43
1	1,45	2,23	2,01	1,95	1,40	1,53	2,33	1,46	2,45	1,68	1,25	1,36	1,85	1,48	1,59
2	1,56	2,50	2,45	2,25	1,62	1,64	2,55	1,68	2,65	1,88	1,45	1,75	2,09	1,67	1,78
3	2,20	3,04	3,01	2,65	1,94	2,27	3,14	1,98	3,24	2,01	1,56	1,99	2,59	2,29	1,98
4	2,82	3,58	3,38	3,05	2,02	2,90	3,68	2,46	3,76	2,15	1,76	2,36	3,01	2,89	2,05
5	3,35	4,54	4,24	3,45	2,35	3,41	4,64	3,45	4,78	2,35	1,98	2,68	3,65	3,45	2,32
6	3,88	5,50	5,30	3,85	2,75	3,86	5,70	4,51	5,85	2,95	2,05	2,93	4,22	3,98	2,75
7	4,35	6,07	5,90	4,15	3,05	4,23	6,27	5,56	6,29	3,43	2,21	3,23	4,96	4,45	3,04
8	4,82	6,65	6,30	4,51	3,29	4,70	6,77	6,88	6,80	3,96	2,62	3,66	5,70	4,95	3,35
9	5,50	7,27	7,01	4,94	3,54	5,39	7,37	7,67	7,48	4,45	2,81	4,10	6,11	5,65	3,70
10	6,20	7,90	7,43	5,38	3,85	6,08	7,95	8,68	7,98	4,95	3,01	4,55	6,51	6,30	3,98
11	6,72	8,57	7,87	5,95	4,21	6,61	8,67	9,16	8,72	5,59	3,21	4,78	6,92	6,80	4,19
12	7,28	9,25	8,31	6,14	4,46	7,15	9,42	9,68	9,61	6,29	3,52	5,21	7,35	7,38	4,48
13	7,82	9,72	9,23	6,54	4,70	7,75	10,02	10,24	10,12	6,81	3,67	5,45	8,31	7,90	4,74
14	8,48	10,19	10,15	6,85	5,22	8,36	10,68	11,04	10,78	7,48	3,91	5,70	9,20	8,60	4,98
15	9,01	11,04	10,73	7,18	5,81	8,88	11,12	11,85	11,14	7,95	4,29	5,95	9,76	9,11	5,21
16	9,50	11,89	11,31	7,48	6,01	9,38	11,96	12,66	11,99	8,65	4,65	6,15	10,35	9,52	5,45
17	10,20	12,66	12,10	7,75	6,19	10,08	12,96	13,89	12,98	9,11	5,23	6,34	11,13	10,28	5,65
18	10,90	13,43	12,90	8,05	6,25	10,78	13,47	15,15	13,86	9,60	5,83	6,85	11,92	10,95	5,96
19	11,45	13,94	13,17	8,85	6,31	11,33	13,98	16,43	14,04	10,35	5,95	7,45	12,46	11,50	6,30
20	12,01	14,46	13,44	9,30	6,35	11,82	14,68	17,23	15,25	10,95	6,07	8,17	13,35	12,10	6,57
21	12,66	15,13	14,29	9,98	6,55	12,54	15,62	18,80	16,65	11,55	6,13	8,96	14,15	12,70	6,85
22	13,32	15,80	15,14	10,36	6,75	13,20	16,48	19,30	17,40	12,10	6,20	9,36	14,80	13,25	7,20
23	13,60	16,50	15,48	10,63	6,95	13,84	17,30	20,60	18,29	12,25	6,40	9,87	14,70	13,68	7,65

GI Cikasungka

NO	Titik Pengukuran (kV/m)														
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
0	2,05	2,87	3,18	2,60	2,77	2,09	2,08	2,06	2,45	2,30	2,40	2,88	3,20	2,60	2,02
1	2,32	3,45	3,68	3,22	3,14	2,48	2,64	2,46	2,69	2,58	2,67	3,29	3,64	2,78	2,06
2	2,60	4,03	4,18	3,80	3,52	2,87	3,20	2,86	2,93	2,86	2,95	3,70	4,09	2,96	2,21
3	3,02	4,57	4,84	4,25	3,94	3,21	3,83	3,32	3,18	3,26	3,26	4,26	4,59	3,44	2,46
4	3,45	5,12	5,54	4,75	4,36	3,56	4,45	3,78	3,43	3,67	3,56	4,80	5,12	3,91	2,80
5	3,97	6,02	5,99	5,38	4,76	3,88	5,26	4,35	3,94	4,16	4,02	5,37	5,87	4,56	3,13
6	4,50	6,88	6,56	5,95	5,17	4,23	6,05	4,90	4,45	4,65	4,47	5,95	6,60	5,20	3,45
7	5,03	7,68	7,21	6,52	5,69	4,85	6,78	5,78	5,02	5,28	4,95	6,38	7,35	5,86	4,31
8	5,56	8,48	7,86	7,05	6,21	5,46	7,46	6,60	5,60	5,90	5,40	6,84	8,09	6,50	5,16
9	5,85	8,81	8,50	7,75	6,69	6,33	8,05	7,24	5,81	6,14	6,13	7,44	8,57	6,93	5,34
10	6,15	9,12	9,15	8,45	7,18	7,20	8,60	7,90	6,02	7,36	6,80	8,07	9,08	7,38	5,52
11	7,35	9,35	9,98	9,75	7,79	8,11	9,58	9,08	6,79	8,12	7,26	9,18	9,76	8,61	5,81
12	8,56	9,58	11,41	11,06	8,40	8,95	10,56	10,26	7,56	9,89	7,69	10,26	10,43	9,80	6,09
13	9,41	9,73	11,79	12,04	8,83	9,92	11,39	12,28	8,85	10,46	7,88	10,77	11,14	10,76	6,48
14	10,25	9,88	12,18	13,02	9,26	10,88	12,23	14,25	10,13	11,03	8,08	11,27	11,84	11,60	6,90
15	11,06	10,18	12,59	13,54	9,72	11,32	13,13	15,68	10,98	11,55	8,54	11,66	12,17	12,19	7,35
16	11,88	10,49	13,01	14,06	10,18	11,76	14,05	17,11	11,86	12,10	8,99	12,08	12,55	12,80	7,78
17	11,98	11,48	13,91	14,52	10,61	11,98	14,82	18,06	12,35	12,87	9,44	12,96	13,67	13,83	8,12
18	12,08	12,50	14,80	14,98	11,03	12,18	15,55	19,01	12,89	13,66	9,87	13,86	14,81	14,91	8,45
19	13,46	14,09	15,44	15,28	11,51	12,63	16,02	20,18	13,48	13,90	10,39	14,21	15,41	15,49	8,78
20	14,85	15,69	16,07	15,58	11,98	13,09	16,46	21,26	14,03	14,30	10,90	14,60	16,01	16,23	9,09
21	15,22	16,64	16,88	15,81	12,43	13,57	17,57	21,67	15,03	15,18	11,25	15,01	16,87	17,47	9,44
22	15,60	17,60	17,68	16,02	12,88	14,08	18,68	22,08	16,06	16,09	11,68	15,40	17,80	18,69	9,78
23	16,20	18,61	18,55	18,25	13,69	14,88	20,28	24,05	18,89	17,80	12,86	16,69	18,96	19,51	10,51

Hasil Perhitungan Kuat Medan Listrik

GI Rancakasumba

NO	Titik Pengukuran (kV/m)															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
0	6,60	6,89	7,58	7,87	8,30	8,33	8,62	8,73	8,63	8,31	7,88	7,59	6,90	6,61		
1	6,66	6,96	7,66	7,95	8,39	8,42	8,71	8,82	8,71	8,42	8,40	7,96	7,67	6,97	6,67	
2	6,72	7,02	7,75	8,04	8,48	8,50	8,80	8,91	8,80	8,51	8,49	8,05	7,76	7,03	6,73	
3	6,78	7,09	7,83	8,13	8,57	8,59	8,89	9,00	8,90	8,59	8,58	8,14	7,84	7,10	6,79	
4	6,85	7,16	7,92	8,21	8,67	8,67	8,99	9,10	8,99	8,68	8,68	8,23	7,93	7,17	6,86	
5	6,91	7,23	8,01	8,31	8,77	8,76	9,08	9,19	9,09	8,77	8,78	8,32	8,02	7,24	6,92	
6	6,98	7,30	8,10	8,40	8,87	8,85	9,18	9,29	9,18	8,86	8,88	8,41	8,11	7,31	6,99	
7	7,05	7,38	8,20	8,49	8,97	8,95	9,28	9,40	9,28	8,95	8,98	8,50	8,21	7,39	7,06	
8	7,12	7,45	8,29	8,59	9,07	9,04	9,38	9,50	9,38	9,05	9,08	8,60	8,31	7,47	7,13	
9	7,19	7,53	8,39	8,69	9,18	9,14	9,48	9,60	9,49	9,14	9,19	8,70	8,41	7,54	7,20	
10	7,27	7,61	8,50	8,79	9,29	9,24	9,59	9,71	9,59	9,24	9,30	8,80	8,51	7,62	7,28	
11	7,34	7,69	8,60	8,90	9,41	9,34	9,70	9,82	9,70	9,34	9,42	8,91	8,61	7,71	7,35	
12	7,42	7,78	8,71	9,00	9,52	9,44	9,81	9,94	9,81	9,45	9,53	9,02	8,72	7,79	7,43	
13	7,50	7,86	8,82	9,11	9,64	9,55	9,92	10,05	9,92	9,55	9,65	9,13	8,83	7,87	7,51	
14	7,58	7,95	8,93	9,23	9,76	9,65	10,04	10,17	10,04	9,66	9,78	9,24	8,95	7,96	7,59	
15	7,66	8,04	9,05	9,34	9,89	9,76	10,15	10,29	10,16	9,77	9,90	9,35	9,07	8,05	7,67	
16	7,75	8,13	9,17	9,46	10,02	9,87	10,27	10,41	10,28	9,88	10,03	9,47	9,19	8,14	7,76	
17	7,84	8,23	9,30	9,58	10,15	9,99	10,40	10,54	10,40	9,99	10,17	9,60	9,31	8,24	7,85	
18	7,93	8,32	9,43	9,71	10,29	10,10	10,52	10,66	10,53	10,11	10,30	9,72	9,44	8,34	7,94	
19	8,02	8,42	9,56	9,83	10,43	10,22	10,65	10,80	10,66	10,23	10,44	9,85	9,57	8,44	8,03	
20	8,11	8,52	9,70	9,97	10,58	10,35	10,78	10,93	10,79	10,35	10,59	9,98	9,71	8,54	8,13	
21	8,21	8,63	9,84	10,10	10,73	10,47	10,92	11,07	10,92	10,48	10,74	10,12	9,85	8,64	8,22	
22	8,31	8,74	9,98	10,24	10,88	10,60	11,06	11,21	11,06	10,61	10,89	10,26	10,00	8,75	8,33	
23	8,41	8,85	10,13	10,38	11,04	10,73	11,20	11,35	11,21	10,74	11,05	10,40	10,15	8,86	8,43	

GI Rancaekek

NO	Titik Pengukuran (kV/m)															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
0	6,33	6,61	7,28	7,56	7,96	8,00	8,27	8,37	8,27	8,00	7,96	7,56	7,28	6,61	6,33	
1	6,39	6,68	7,36	7,64	8,05	8,08	8,36	8,46	8,36	8,08	8,05	7,64	7,36	6,68	6,39	
2	6,45	6,74	7,44	7,72	8,14	8,16	8,45	8,55	8,45	8,16	8,14	7,72	7,44	6,74	6,45	
3	6,51	6,81	7,52	7,80	8,23	8,24	8,53	8,64	8,53	8,24	8,23	7,80	7,52	6,81	6,51	
4	6,57	6,87	7,60	7,89	8,32	8,32	8,62	8,73	8,62	8,32	8,32	7,89	7,60	6,87	6,57	
5	6,64	6,94	7,69	7,97	8,41	8,41	8,72	8,82	8,72	8,41	8,41	7,97	7,69	6,94	6,64	
6	6,70	7,01	7,78	8,06	8,51	8,50	8,81	8,92	8,81	8,50	8,51	8,06	7,78	7,01	6,70	
7	6,77	7,08	7,87	8,15	8,61	8,59	8,90	9,01	8,90	8,59	8,61	8,15	7,87	7,08	6,77	
8	6,84	7,16	7,96	8,25	8,71	8,68	9,00	9,11	9,00	8,68	8,71	8,25	7,96	7,16	6,84	
9	6,91	7,23	8,06	8,34	8,81	8,77	9,10	9,21	9,10	8,77	8,81	8,34	8,06	7,23	6,91	
10	6,98	7,31	8,16	8,44	8,92	8,86	9,20	9,32	9,20	8,86	8,92	8,44	8,16	7,31	6,98	
11	7,05	7,39	8,26	8,54	9,03	8,96	9,31	9,42	9,31	8,96	9,03	8,54	8,26	7,39	7,05	
12	7,12	7,47	8,36	8,64	9,14	9,06	9,41	9,53	9,41	9,06	9,14	8,64	8,36	7,47	7,12	
13	7,20	7,55	8,47	8,75	9,26	9,16	9,52	9,64	9,52	9,16	9,26	8,75	8,47	7,55	7,20	
14	7,28	7,63	8,58	8,86	9,37	9,26	9,63	9,75	9,63	9,26	9,37	8,86	8,58	7,63	7,28	
15	7,36	7,72	8,69	8,97	9,49	9,37	9,74	9,87	9,74	9,37	9,49	8,97	8,69	7,72	7,36	
16	7,44	7,81	8,81	9,08	9,62	9,48	9,86	9,99	9,86	9,48	9,62	9,08	8,81	7,81	7,44	
17	7,52	7,90	8,93	9,20	9,75	9,58	9,98	10,11	9,98	9,58	9,75	9,20	8,93	7,90	7,52	
18	7,61	7,99	9,05	9,32	9,88	9,70	10,10	10,23	10,10	9,70	9,88	9,32	9,05	7,99	7,61	
19	7,70	8,09	9,18	9,44	10,01	9,81	10,22	10,36	10,22	9,81	10,01	9,44	9,18	8,09	7,70	
20	7,79	8,18	9,31	9,57	10,15	9,93	10,35	10,49	10,35	9,93	10,15	9,57	9,31	8,18	7,79	
21	7,88	8,29	9,44	9,70	10,30	10,05	10,48	10,62	10,48	10,05	10,30	9,70	9,44	8,29	7,88	
22	7,98	8,39	9,59	9,83	10,45	10,17	10,61	10,75	10,61	10,17	10,45	9,83	9,59	8,39	7,98	
23	8,08	8,50	9,73	9,97	10,60	10,30	10,75	10,89	10,75	10,30	10,60	9,97	9,73	8,50	8,08	

GI Cikasungka

NO	Titik Pengukuran (kV/m)															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
0	6,63	6,92	7,61	7,90	8,33	8,37	8,66	8,76	8,66	8,37	8,33	7,90	7,61	6,92	6,63	
1	6,69	6,99	7,70	7,99	8,42	8,45	8,75	8,85	8,75	8,45	8,42	7,99	7,70	6,99	6,69	
2	6,75	7,05	7,78	8,07	8,51	8,53	8,84	8,94	8,84	8,53	8,51	8,07	7,78	7,05	6,75	
3	6,81	7,12	7,87	8,16	8,61	8,62	8,93	9,03	8,93	8,62	8,61	8,16	7,87	7,12	6,81	
4	6,88	7,19	7,95	8,25	8,70	8,71	9,02	9,13	9,02	8,71	8,70	8,25	7,95	7,19	6,88	
5	6,94	7,26	8,05	8,34	8,80	8,80	9,12	9,23	9,12	8,80	8,80	8,34	8,05	7,26	6,94	
6	7,01	7,34	8,14	8,43	8,90	8,89	9,22	9,33	9,22	8,89	8,90	8,43	8,14	7,34	7,01	
7	7,08	7,41	8,23	8,53	9,01	8,98	9,32	9,43	9,32	8,98	9,01	8,53	8,23	7,41	7,08	
8	7,15	7,49	8,33	8,63	9,11	9,08	9,42	9,53	9,42	9,08	9,11	8,63	8,33	7,49	7,15	
9	7,22	7,57	8,43	8,73	9,22	9,18	9,52	9,64	9,52	9,18	9,22	8,73	8,43	7,57	7,22	
10	7,30	7,65	8,53	8,83	9,33	9,27	9,63	9,75	9,63	9,27	9,33	8,83	8,53	7,65	7,30	
11	7,37	7,73	8,64	8,94	9,45	9,38	9,74	9,86	9,74	9,38	9,45	8,94	8,64	7,73	7,37	
12	7,45	7,81	8,75	9,04	9,56	9,48	9,85	9,97	9,85	9,48	9,56	9,04	8,75	7,81	7,45	
13	7,53	7,90	8,86	9,15	9,68	9,58	9,96	10,09	9,96	9,58	9,68	9,15	8,86	7,90	7,53	
14	7,61	7,99	8,97	9,27	9,81	9,69	10,07	10,21	10,07	9,69	9,81	9,27	8,97	7,99	7,61	
15	7,70	8,08	9,09	9,38	9,93	9,80	10,19	10,33	10,19	9,80	9,93	9,38	9,09	8,08	7,70	
16	7,78	8,17	9,21	9,50	10,06	9,91	10,31	10,45	10,31	9,91	10,06	9,50	9,21	8,17	7,78	
17	7,87	8,26	9,34	9,62	10,20	10,03	10,44	10,57	10,44	10,03	10,20	9,62	9,34	8,26	7,87	
18	7,96	8,36	9,47	9,75	10,33	10,15	10,56	10,70	10,56	10,15	10,33	9,75	9,47	8,36	7,96	
19	8,05	8,46	9,60	9,88	10,48	10,27	10,69	10,84	10,69	10,27	10,48	9,88	9,60	8,46	8,05	
20	8,15	8,56	9,74	10,01	10,62	10,39	10,83	10,97	10,83	10,39	10,62	10,01	9,74	8,56	8,15	
21	8,25	8,67	9,88	10,15	10,77	10,51	10,96	11,11	10,96	10,51	10,77	10,15	9,88	8,67	8,25	
22	8,35	8,78	10,03	10,29	10,93	10,64	11,10	11,25	11,10	10,64	10,93	10,29	10,03	8,78	8,35	
23	8,45	8,89	10,18	10,43	11,09	10,77	11,24	11,39	11,24	10,77	11,09	10,43	10,18	8,89	8,45	

Analisa Data

Berdasarkan SNI 04-6950-2003 tentang batas paparan medan listrik selama hari kerja untuk masyarakat pekerja adalah 10kV/m. Nilai ini akan terlewati pada ketinggian titik uji/ukur yang berbeda tiap gardu induk, baik secara pengukuran maupun perhitungan. Dari nilai batas paparan kuat medan listrik ini, dapat dihitung jarak aman minimum dan durasi paparan kuat medan listrik yang diizinkan tiap-tiap gardu induk. GI Rancakasumba

➤ Berdasar pengukuran

- Jarak Aman Minimum

Dari hasil pengukuran kuat medan listrik, nilai 10kV/m akan terlewati pada ketinggian $\geq 1,3$ m dari permukaan tanah ($\leq 6,2$ m dari andongan busbar).Dengan jarak aman minimum yang dibahas pada point 4.3 yaitu 8,6m, dan andongan busbar 7,5m seharusnya jarak $\leq 6,2$ m dari andongan busbar tidaklah memenuhi jarak aman.Tetapi berdasar hasil pengukuran kuat medan listrik, jarak $> 6,2$ m dari andongan

busbar masih di bawah nilai 10kV/m. Jika tinggi badan ideal pria Indonesia 168cm [20], maka jarak aman minimum di bawah busbar gardu induk Rancakasumba

$$6,2m + 1,68m = 7,88m$$

Jadi andongan busbar harus naik sebesar

$$7,88m - 7,5m = 1,38m$$

- Durasi paparan kuat medan listrik yang diizinkan

Berdasar SNI 04-6950-2003, durasi paparan kuat medan listrik untuk masyarakat pekerja $t \leq 80/E$ dan tinggi ideal pria Indonesia 1,68m (dibulatkan 1,7m), maka untuk memperoleh durasi paparan kuat medan listrik diperlukan nilai kuat medan listrik maksimum pada ketinggian 1,7m dari permukaan tanah (5,8 m dari andongan busbar) baik dari pengukuran maupun perhitungan.

Dari hasil pengukuran kuat medan listrik di ketinggian 1,7m dari permukaan tanah diperoleh nilai kuat medan listrik maksimum di titik H17 sebesar 15,33kV/m, maka durasi yang diizinkan

$$t \leq 80/E \rightarrow t \leq 80/15,33 \rightarrow t \leq 5,21 \text{ jam}$$

➤ Berdasar perhitungan

- Jarak aman minimum

Dari perhitungan kuat medan listrik, nilai 10kV/m akan terlewati pada ketinggian $\geq 1,3$ m dari permukaan tanah ($\leq 6,2$ m dari andongan busbar).Dengan jarak aman minimum yang dibahas pada point 4.3 yaitu 8,6m, dan andongan busbar 7,5m seharusnya jarak $\leq 6,2$ m dari andongan busbar tidaklah memenuhi jarak aman.Tetapi berdasar hasil perhitungan kuat medan

listrik, jarak $> 6,2$ m dari andongan busbar masih di bawah nilai 10kV/m. Jika tinggi badan ideal pria Indonesia 168cm [20], maka jarak aman minimum di bawah busbar gardu induk Rancakasumba

$$6,2m + 1,68m = 7,88m$$

Jadi andongan busbar harus naik sebesar

$$7,88m - 7,5m = 1,38m$$

- Durasi paparan kuat medan listrik yang diizinkan

Dari hasil perhitungan kuat medan listrik di ketinggian 1,7m dari permukaan tanah diperoleh nilai kuat medan listrik maksimum di titik H17 sebesar 10,54kV/m, maka durasi paparan kuat medan listrik yang diizinkan

$$t \leq 80/E \rightarrow t \leq 80/10,54 \rightarrow t \leq 7,59 \text{ jam}$$

➤ Gardu Induk Rancaekek

- Berdasar pengukuran

Jarak aman minimum

Dari pengukuran kuat medan listrik, nilai 10kV/m akan terlewati pada ketinggian $\geq 1,3$ m dari permukaan tanah ($\leq 6,2$ m dari andongan busbar).Dengan jarak aman minimum yang dibahas pada point 4.3 yaitu 8,6m, dan andongan busbar 7,5m seharusnya jarak $\leq 6,2$ m dari andongan busbar tidaklah memenuhi jarak aman.Tetapi berdasar hasil pengukuran kuat medan listrik, jarak $> 6,2$ m dari andongan busbar masih di bawah nilai 10kV/m. Jika tinggi badan ideal pria Indonesia 168cm [20], maka jarak aman di bawah busbar gardu induk Rancaekek

$$6,2m + 1,68m = 7,88m$$

Jadi andongan busbar harus naik sebesar

$$7,88m - 7,5m = 1,38m$$

- Durasi paparan kuat medan listrik yang diizinkan

Dari hasil pengukuran di ketinggian 1,7m dari permukaan tanah diperoleh nilai kuat medan listrik maksimum di titik H17 sebesar 13,89kV/m, maka durasi paparan medan listrik yang diizinkan

$$t \leq 80/E \rightarrow t \leq 80/13,89 \rightarrow t \leq 5,75 \text{ jam}$$

b. Berdasar perhitungan

- Jarak aman minimum

Dari hasil perhitungan kuat medan listrik, nilai 10kV/m akan terlewati pada ketinggian $\geq 1,7$ m dari permukaan tanah ($\leq 5,8m$ dari andongan busbar).Dengan jarak aman minimum yang dibahas pada point 4.3 yaitu 8,6m, dan andongan busbar 7,5m seharusnya jarak $\leq 5,8m$ dari andongan busbar tidaklah memenuhi jarak aman.Tetapi berdasar hasil perhitungan kuat medan listrik, jarak $> 5,8$ m masih di bawah nilai 10kV/m. Jika tinggi badan ideal pria Indonesia 168cm [20], maka jarak aman di bawah busbar gardu induk Rancaekek

$$5,8m + 1,68m = 7,48m$$

Jadi dengan andongan busbar 7,5m masih aman.

- Durasi paparan kuat medan listrik yang diizinkan

Dari hasil perhitungan kuat medan listrik di ketinggian 1,7m dari permukaan tanah diperoleh nilai kuat medan listrik maksimum di titik H17 sebesar 10,11kV/m, maka durasi

paparan kuat medan listrik yang diizinkan

$$t \leq 80/E \rightarrow t \leq 80/10,11 \rightarrow t \leq 7,91 \text{ jam}$$

C. Gardu Induk Cikasungka

a. Berdasar pengukuran

- Jarak aman minimum

Dari pengukuran kuat medan listrik, nilai 10kV/m akan terlewati pada ketinggian $\geq 1,2$ m dari permukaan tanah ($\leq 6,3m$ dari andongan busbar).Dengan jarak aman minimum yang dibahas pada point 4.3 yaitu 8,6m, dan andongan busbar 7,5m seharusnya jarak $\leq 6,3m$ dari andongan busbar tidaklah memenuhi jarak aman.Tetapi berdasar hasil pengukuran kuat medan listrik, jarak $> 6,3$ m dari andongan busbar masih di bawah nilai 10kV/m. Jika tinggi badan ideal pria Indonesia 168cm [20], maka jarak aman di bawah busbar gardu induk Cikasungka

$$6,3m + 1,68m = 7,98m$$

andongan busbar harus naik sebesar

$$7,98m - 7,5m = 1,48m$$

- Durasi paparan kuat medan listrik yang diizinkan

Dari hasil pengukuran kuat medan listrik di ketinggian 1,7m dari permukaan tanah diperoleh nilai kuat medan listrik maksimum di titik H17 sebesar 18,06kV/m, maka durasi paparan medan listrik yang diizinkan

$$t \leq 80/E \rightarrow t \leq 80/18,06 \rightarrow t \leq 4,42 \text{ jam}$$

b. Berdasar perhitungan

- Jarak aman minimum

Dari perhitungan kuat medan listrik, nilai 10kV/m akan terlewati pada ketinggian $\geq 1,3$ m dari permukaan tanah ($\leq 6,2m$ dari andongan busbar).Dengan jarak aman minimum yang dibahas pada point 4.3 yaitu 8,6m, dan

andongan busbar 7,5m seharusnya jarak $\leq 6,2m$ dari andongan busbar tidaklah memenuhi jarak aman. Tetapi berdasar hasil perhitungan kuat medan listrik, jarak $> 6,2 m$ dari andongan busbar masih di bawah nilai 10kV/m. Jika tinggi badan ideal pria Indonesia 168cm [20], maka jarak aman minimum di bawah busbar gardu induk Cikasungka

$$6,2m + 1,68m = 7,88m$$

Jadi andongan busbar harus naik sebesar

$$7,88m - 7,5m = 1,38m$$

- Durasi paparan kuat medan listrik yang diizinkan

Dari hasil perhitungan kuat medan listrik di ketinggian 1,7m dari permukaan tanah diperoleh nilai kuat medan listrik maksimum di titik H17 sebesar 10,57kV/m, maka durasi yang diizinkan sebagai berikut:

$$t \leq \frac{80}{E} \rightarrow t \leq \frac{80}{10,57} \rightarrow t \leq 7,56 \text{ jam}$$

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari hasil pengukuran dan perhitungan kuat medan listrik diperoleh bahwa: untuk ketinggian titik uji/ukur 2,3 m dari permukaan tanah, kuat medan listrik maksimum diperoleh diantara busbar 1 dan busbar 2.

Semakin tinggi titik uji/ukur semakin besar pula kuat medan listriknya (semakin dekat dengan konduktor busbar semakin besar kuat medan listriknya).

Jarak aman minimum dan durasi paparan kuat medan listrik tiap-tiap

gardu induk berbeda-beda tergantung dari tegangannya.

Dari hasil pengukuran kuat medan listrik diperoleh bahwa: jarak aman minimum terpendek 7,88m di GI Rancakasumba dan GI Rancaekek sedangkan jarak aman minimum tertinggi 7,98m di GI Cikasungka.

Dari hasil perhitungan kuat medan listrik diperoleh bahwa: jarak aman minimum terpendek 7,48m di GI Rancaekek, sedangkan jarak aman minimum tertinggi 7,88m di GI Rancakasumba dan GI Cikasungka.

Dari hasil pengukuran kuat medan listrik diperoleh bahwa: durasi paparan kuat medan listrik tercepat 4,42 jam di GI Cikasungka sedangkan durasi paparan kuat medan listrik terlama 5,75 jam di GI Rancaekek.

Dari hasil perhitungan kuat medan listrik diperoleh bahwa: durasi paparan medan listrik tercepat 7,56 jam di GI Cikasungka sedangkan durasi paparan kuat medan listrik terlama 7,91 jam di GI Rancaekek.

4.2 Saran

Pengukuran dan perhitungan kuat medan listrik masih mengabaikan faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi medan di bawah busbar gardu induk. Oleh karena itu, diharapkan ada pihak-pihak lain yang dapat memperhitungkan faktor-faktor itu dikemudian hari.

Untuk memeriksa tingkat keakuratan pengukuran dan perhitungan diperlukan sampel yang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Keikko, T. (2003). Technical Management Of The Electric And Magnetic Fields in Electric Power System. (Tampere University of Technology. Publication; Vol. 422). Tampere University of Technology.
- [2] ICNIRP. 2010. ICNIRP statement-guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100kHz). Health Phys; 99: 818 36
- [3] Standar Nasional Indonesia. 2003. Saluran Udara Tegangan Tinggi(SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)-Nilai Ambang Batas Medan Listrik dan Medan Magnet SNI 04-6950-2003. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- [4] WHO Regional Publication, Europe Series, No.25 tahun 1989, Electric and magnetic field at extremely low frequencies.
- [5] IRPA/INIRC Guidelines 1990, Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields.
- [6] Leena Korpinen, Harri Kuisti, Rauno Paakonen, Pauli Vanhala and Jarmo Elovareaa. 2011. Occupational Exposure to Electric and Magnetic Fields While Working at Switching and Transforming Station of 110kV. Ann. Occup. Hyg., Vol. 55, No. 5, pp. 526–536
- [7] Esam M. Shaalan, Samy M.Ghania, Syed A. Ward. 2012. Analysis and Measurement of Electric Field Exposure Inside 500/200 kV Air Insulated Substation. Journal of Electical Engineering
- [8] H. Ahmadi, S. Mohseni, A. A. Shayegani Akmal. 2010. Electromagnetic Fields Near Transmission Lines – Problem and Solution. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 2010, Vol. 7, No. 2, pp. 181-188
- [9] Lovstand, K. G. 1976. Determination of exposure to electric fields in extra high voltage substations. Scand. j. work environ. & heath 3 (1976) 190-198.
- [10] Perusahaan Listrik Negara East Java 500kV Pasuruan (Grati) And West Java 150kV Conventional Switchgears French Protocol 1992. 1994. 150kV Switchgear Installation Scheme Of Loadings. Jakarta : Consortium CMM
- [11] Tobing, Bonggas L. 2012. Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi Edisi Kedua. Jakarta : Erlangga
- [12] Arismunandar, A. ; Kuwahara, S. 2004. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid III Gardu Induk. Jakarta : PT Pradnya Paramita
- [13] Tobing, Bonggas L. 2012. Peralatan Tegangan Tinggi Edisi Kedua. Jakarta : Erlangga
- [14] Halliday, David ; Robert Resnick. 1996. Fisika Jilid 2. Jakarta : Erlangga
- [15] Jr., William H. Hayt ; Jhon A. Buck. 2006. Elektromagnetika Edisi Ketujuh. Alih Bahasa Irzam Harmein, S.T. Jakarta : Erlangga
- [16] I Gusti Ngurah Adi Kurniawan. 2015. Studi Intensitas Medan Listrik SUTT 150kV Konfigurasi Horizontal Untuk Lingkungan Pemukiman. Bali : Universitas Udayana
- [17] Andry. 2004. Perhitungan Kuat Medan Listrik di Bawah Saluran Transmisi. Sumatera Utara : Universitas Sumatera Utara

- [18] Aurizan Sahrir Shodiq. 2015. Analisis Tahanan Mikroskopik Pada Pakaian Konduktif Terhadap Intensitas Tembus Gelombang Medan Listrik Di Jaringan SUTET 500kV. Bandung : STT Mandala
- [19] Standar Perusahaan Listrik Negara. 1994. Ambang Batas Kuat Medan Listrik dan Induksi Medan Magnet SPLN 112:1994. Jakarta : P.T Perusahaan Listrik Negara
- [20] Lampiran Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 75 Tahun 2013 Tentang Angka Kecukupan Gizi Yang Dianjurkan Bagi Bangsa Indonesia
- [21] Yusmartato, Ramayulis Nasution, Abdurrozzaq Hasibuan. 2018. Analisis Kopling Elektromagnetik Pada Transmisi Tegangan Tinggi 150kV. Journal of Electrical Technology, Vol 3, No 2