

Studi Analisis Pengaruh Intensitas Medan Listrik pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV di Jalur Lubuk Alung – Padang Industrial Park - Pauh Limo

Irfan Zainaldi¹, Yani Ridal², Rosnita Rauf³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Ekasakti, Padang
Email : irfanzainaldi@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini membahas perhitungan intensitas medan listrik pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV di jalur Lubuk Alung – Padang Industrial Park – Pauh Limo yang mengalami relokasi akibat pembangunan jalan tol. Kajian difokuskan pada perhitungan parameter teknis seperti andongan konduktor, jarak antar fasa, tinggi konduktor, dan jari-jari konduktor berdasarkan data dari PT. Maxima Arta. Metode analitik elektrostatis digunakan untuk menghitung intensitas medan listrik pada tiga titik uji utama: permukaan jalan tol, kendaraan yang melintas, dan safety net. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa intensitas medan listrik tertinggi sebesar 6,040 kV/m terjadi pada safety net yang telah di-grounding, sehingga tidak menimbulkan risiko bagi manusia maupun lingkungan di bawahnya. Nilai medan listrik pada titik uji jalan dan kendaraan berada dalam batas aman sesuai SNI 04-6918-2002 dan rekomendasi WHO. Dengan demikian, relokasi SUTT 150 kV pada jalur ini dinyatakan aman dari aspek paparan medan listrik dan dapat dijadikan referensi teknis dalam perencanaan ulang jaringan transmisi di area publik.

Kata Kunci: SUTT 150 kV, Intensitas Medan Listrik, Andongan, Safetynet, Keselamatan

1. PENDAHULUAN

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) Standar Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) ini merupakan revisi khusus dari SNI 225-1987, Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia 1987 (PUIL 1987), Pasal 760, Pemasangan Pengantar Udara di Luar Bangunan. Jarak antara Penghantar Udara Tegangan Tinggi dengan bumi dan dengan benda lain.

Standar ini telah di bahas dalam Forum Konsensus ke XVII SNI bidang Rekayasa Elektronika pada tanggal 23 Oktober 2001 dan akan di berlakukan sebagai SNI wajib. Selanjutnya, berdasarkan keputusan Forum Konsensus XVII, masalah percantuman “Klasifikasi bangunan tidak tahan api dan jarak minimum pompa bensin” sesuai dengan keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor : 01.P/47/MPE/1992, perlu di bahas oleh panitia teknik bersama dengan PT. PLN (Persero) Unit Bisnis Strategis Pusat Pengendalian dan Pengaturan Beban. Untuk maksud tersebut telah di lakukan rapat Bandung pada tanggal 12 sampai 14 November 2001 dilanjutkan pada rapat tanggal 12 Desember 2001 di Kantor Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi – Jakarta, di tetapkan bahwa hal tersebut tidak termasuk lingkup standar ini.

Berdasarkan UU Ketenagalistrikan, PLN sebagai BUMN dalam menyediakan tenaga listrik berhak melintas di atas tanah atau bangunan milik Masyarakat (*Rights of Ways*), dengan tetap mematuhi batas aman induksi elektromagnetik sesuai Peraturan Menteri Energi Sumber Daya Mineral tentang Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum pada SUTT,SUTET.

Relokasi SUTT dapat menyebabkan perubahan konfigurasi medan listrik di sekitarnya, yang dipengaruhi oleh faktor seperti ketinggian tiang baru, jarak antar konduktor, dan perubahan topografi lahan. Medan listrik yang di hasilkan oleh SUTT dapat berdampak pada lingkungan sekitar, peralatan elektronik, serta kesehatan manusia

yang berada di dekat jalur transmisi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, medan listrik di sekitar SUTT dapat mempengaruhi muatan-muatan di sekitarnya, termasuk lingkungan perumahan dan manusia yang tinggal di dekatnya. Nainggolan *et al.*, (2018) menemukan bahwa medan listrik dari saluran tegangan tinggi 70 kV - 150 kV dapat memberikan efek terhadap lingkungan perumahan, terutama dalam hal interferensi elektromagnetik yang dapat mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan warga di sekitar jalur transmisi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan intensitas medan listrik yang terjadi pada SUTT 150 kV setelah direlokasi. Dengan studi ini, di harapkan dapat di peroleh data yang berguna dalam merancang kebijakan dan standar mitigasi yang lebih baik guna memastikan keamanan dan efisiensi jaringan transmisi listrik.

Hasil dari penelitian ini di harapkan dapat memberikan rekomendasi terkait mitigasi dampak medan listrik akibat relokasi SUTT 150 kV, serta memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem transmisi listrik yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Seperti adanya pembangunan jalan tol Kota Padang menuju Sicincin yang harus di lintasi oleh jalur transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi dari Lubuk Alung menuju Padang Industrial Park kemudian ke Pauh Limo ada beberapa titik SUTT yang harus di relokasi untuk mengatasi masalah yang di timbulkan oleh pembangunan jalan tol tersebut.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan yaitu kuantitatif yang menggunakan pendekatan deskriptif dan analitik. Dalam hal ini kuantitatif pada penelitian ini untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh medan listrik pada saluran udara tegangan tinggi 150 kV yang terdampak relokasi akibat pembangunan jalan TOL Padang – Sicincin. Dengan mengumpulkan data yang ada pada PT. Maxima Arta yang di supervisi oleh PT. Hutama Karya Infrastruktur (HKI) yang telah di beri izin kerja oleh PT. PLN (Persero) dengan menggunakan metode analisis dan perhitungan pengaruh medan listrik.

2.2 Alat Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah bagian paling penting dalam sebuah penelitian karena tujuan utama dari penelitian adalah mendapatkan data. Teknik pengumpulan data adalah metode atau cara yang di gunakan dalam proses penelitian untuk mengumpulkan data dan informasi yang di perlukan oleh peneliti dalam rangka untuk mencapai tujuan penelitian.

Metode observasi berupa pengumpulan data dengan cara meninjau secara langsung ke PT. Maxima Arta dengan tujuan untuk mengumpulkan data dan informasi terkait dengan penelitian yang di lakukan dan sekaligus meninjau kelapangan. Metode interview atau wawancara merupakan pengumpulan data dengan mengajukan pertanyaan-pertanyaan secara langsung kepada pihak PT. Maxima Arta. Metode dokumentasi adalah suatu cara yang di gunakan untuk memperoleh data dan informasi dalam bentuk arsip, dokumen, tulisan angka dan gambar yang berupa laporan serta keterangan yang dapat mendukung penelitian.

2.3 Teknik Analisis Data

Teknik perhitungan dan analisa data yang di pergunakan dalam penulisan penelitian ini menggunakan data dari PT. Maxima Arta sebagai perhitungan dasar. Pengolahan

data merupakan bagian terpenting dalam penelitian, karena dalam pengolahan data, data tersebut dapat di artikan dengan makna yang berguna dalam memecahkan masalah penelitian.

Teknik analisis data dalam penelitian ini berupa analisis deskritif, yaitu suatu teknik untuk mengungkapkan dan memaparkan data yang dikumpulkan. Dari data yang dikumpulkan kemudian dilakukan perhitungan dan analisa data secara deskriptif yaitu dengan cara memaparkan secara objektif dan sistematis situasi yang ada di lapangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Andongan

Perhitungan Andongan pada Bentang T.27B dan T.28A pada SUTT 150 kV.

Maka andongan pada bentang T.27B dan T.28A adalah:

Konversikan gaya ke massa:

$$W = \frac{\text{Berat Konduktor (kN)} \times 1000}{\text{Gravitasi}}$$
$$W = \frac{0,0109 \times 1000}{9,81} = \frac{10,9}{9,81} = 1,111 \text{ Kg/m}$$
$$T = \frac{\text{Tegangan Tarik (kN)}}{\text{Ggravitasi}}$$
$$T = \frac{23,556}{9,81} = \frac{23.556.000}{9,81} = 2.401,63 \text{ Kg/m}$$
$$D = \frac{W \cdot S^2}{8T} + \frac{\Delta h}{2}$$
$$= \frac{1,111 \times 218,36^2}{8 \times 2.401} + \frac{2,56}{2}$$
$$= 4,03 \text{ m}$$

Jadi andongan pada bentang T.27B dan T.28A sebesar 4,03 meter.

Perhitungan Andongan pada Bentang T.41 dan T.41A pada SUTT 150 kV.

Maka andongan pada bentang T.41 dan T.41A adalah:

Konversikan gaya ke massa:

$$W = \frac{\text{Berat Konduktor (kN)} \times 1000}{\text{Gravitasi}}$$
$$W = \frac{0,0109 \times 1000}{9,81} = \frac{10,9}{9,81} = 1,111 \text{ Kg/m}$$
$$T = \frac{\text{Tegangan Tarik (kN)}}{\text{Ggravitasi}}$$
$$T = \frac{23,556}{9,81} = \frac{23.556.000}{9,81} = 2.401,63 \text{ Kg/m}$$
$$D = \frac{w \cdot S^2}{8T} + \frac{\Delta h}{2}$$
$$= \frac{1,111 \times 206,282^2}{8 \times 2.401} + \frac{6,987}{2}$$
$$= 5,95 \text{ m}$$

Tabel 1. Hasil perhitungan andongan pada T.27B-T.28A dan T.41-T.41A

No.	Uraian	Andongan (m)
1.	T.27B – T.28A	4,03
2.	T.41 – T.41A	5,95

Dari tabel di atas dapat dinyatakan bahwa andongan yang paling kecil terdapat pada bentang T.27B-T.28A yaitu sebesar 4,03 meter dan andongan yang paling besar terdapat

pada bentang T.41-T.41A yaitu 5,95 meter, ini di karenakan ketinggian antara T.41 dan T.41A lebih besar yaitu sebesar 6,987 meter. Yang menyebabkan andongan juga semakin besar.

3.2 Perhitungan Intensitas Medan Listrik

Perhitungan Intensitas Medan Listrik Pada T.27B. Konversikan gaya ke massa:

$$W = \frac{\text{Berat Konduktor (kN)} \times 1000}{\text{Gravitasi}}$$
$$W = \frac{0,0109 \times 1000}{9,81} = \frac{10,9}{9,81} = 1,111 \text{ Kg/m}$$
$$T = \frac{\text{Tegangan Tarik (kN)}}{\text{Gravitasi}}$$
$$T = \frac{23,556}{9,81} = \frac{23,556.000}{9,81} = 2.401,63 \text{ Kg/m}$$

Untuk menentukan beda ketinggian tower, maka:

Hitung posisi konduktor terpasang + elevasi.

T.27A :

$$R = 43,508 + 5,456 = 48,964 \text{ m}$$

$$S = 38,808 + 5,456 = 44,264 \text{ m}$$

$$T = 34,108 + 5,456 = 39,564 \text{ m}$$

T.28A :

$$R = 49,544 + 1,980 = 51,524 \text{ m}$$

$$S = 44,844 + 1,980 = 46,824 \text{ m}$$

$$T = 40,144 + 1,980 = 42,124$$

Konduktor pada tower tertinggi yaitu T.28A – konduktor pada tower terendah yaitu T.27B.

$$\Delta h = T_2 - T_1$$
$$= 42,124 - 39,564$$
$$= 2,56 \text{ m}$$

Jadi, beda ketinggian pada tower T.27B dan T.28A adalah 2,56 meter.

Dikarenakan pada bentang ini tower T.27B lebih rendah dari tower T.28A maka digunakan data pada tower T.27B sebagai jarak titik uji pada perhitungan intensitas medan listrik di lokasi pertama.

Untuk menentukan posisi konduktor setelah andongan, maka:

Posisi konduktor terpasang – Andongan.

$$h_{R1} = R - \text{Andongan}$$
$$h_{R1} = 48,964 - 4,03 = 44,934 \text{ m}$$
$$h_{S1} = 44,264 - 4,03 = 40,234 \text{ m}$$
$$h_{T1} = 39,564 - 4,03 = 35,534 \text{ m}$$

Untuk menentukan posisi ke titik uji, maka :

Posisi konduktor setelah andongan – Ketinggian tol.

$$R_{R1} = R - \text{Ketinggian tol}$$
$$R_{R1} = 44,934 - 15,137 = 29,797 \text{ m}$$
$$R_{S1} = 40,234 - 15,137 = 25,397 \text{ m}$$
$$R_{T1} = 35,534 - 15,137 = 20,397 \text{ m}$$

Dikarenakan pada bentang ini konduktor kiri dan kanan memiliki ketinggian tower yang berbeda dan agar tidak menghitung E dua kali (E_{R2} , E_{S2} , E_{T2}) digunakan rumus dinamis phytagoras ditambah dengan jarak panjang lengan untuk memposisikan konduktor kiri dan kanan.

$$\begin{aligned}R_{RI} &= \sqrt{R_{RI}^2 + \text{Jarak lengan}^2} \\R_{R1} &= \sqrt{29,797^2 + 7^2} = 30,60 \text{ m} \\R_{S1} &= \sqrt{25,097^2 + 7^2} = 26,05 \text{ m} \\R_{T1} &= \sqrt{20,397^2 + 7^2} = 21,56 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka, hasil ini sudah didapatkan hasil jarak konduktor ke titik uji jalan tol.

Untuk menentukan jarak konduktor ketitik uji kendaraan yang melintasi jalan tol yaitu mobil dengan ketinggian mobil maksimal 4,2 meter, maka:

$$\begin{aligned}R_{RI} &= R_{RI} - \text{Ketinggian Mobil} \\R_{R1} &= 29,797 - 4,2 = 25,597 \text{ m} \\R_{S1} &= 25,097 - 4,2 = 20,897 \text{ m} \\R_{T1} &= 20,397 - 4,2 = 16,197 \text{ m}\end{aligned}$$

Dikarenakan pada bentang ini konduktor kiri dan kanan memiliki ketinggian tower yang berbeda dan agar tidak menghitung E dua kali (E_{R2} , E_{S2} , E_{T2}) digunakan rumus dinamis phytagoras ditambah dengan jarak panjang lengan untuk memposisikan konduktor kiri dan kanan.

$$\begin{aligned}R_{RI} &= \sqrt{R_{RI}^2 + \text{Jarak lengan}^2} \\R_{R1} &= \sqrt{25,597^2 + 7^2} = 26,53 \text{ m} \\R_{S1} &= \sqrt{20,897^2 + 7^2} = 22,03 \text{ m} \\R_{T1} &= \sqrt{16,197^2 + 7^2} = 17,64 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka, hasil ini dapat di gunakan untuk pengukuran intensitas medan listrik dengan titik uji yaitu kendaraan yang melintasi jalan tol.

Untuk menentukan jarak konduktor ketitik uji *safety net* yang memiliki ketinggian 6 meter dari permukaan jalan tol, maka:

$$\begin{aligned}R_{RI} &= R_{RI} - \text{Safety net dari permukaan jalan tol} \\R_{R1} &= 29,797 - 6 = 23,797 \text{ m} \\R_{S1} &= 25,097 - 6 = 19,097 \text{ m} \\R_{T1} &= 20,397 - 6 = 14,397 \text{ m}\end{aligned}$$

Dikarenakan pada bentang ini konduktor kiri dan kanan memiliki ketinggian tower yang berbeda dan agar tidak menghitung E dua kali (E_{R2} , E_{S2} , E_{T2}) digunakan rumus dinamis phytagoras ditambah dengan jarak panjang lengan untuk memposisikan konduktor kiri dan kanan.

$$\begin{aligned}R_{RI} &= \sqrt{R_{RI}^2 + \text{Jarak lengan}^2} \\R_{R1} &= \sqrt{23,797^2 + 7^2} = 24,80 \text{ m} \\R_{S1} &= \sqrt{19,097^2 + 7^2} = 20,33 \text{ m} \\R_{T1} &= \sqrt{14,397^2 + 7^2} = 16,00 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka, hasil ini dapat di gunakan untuk pengukuran intensitas medan listrik dengan titik uji yaitu *safety net*.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Clearance Konduktor Terhadap Titik Uji

No.	Tower	Fasa Konduktor	Titik Uji Jalan Tol (m)	Titik Uji Kendaraan (m)	Titik Uji Safety Net (m)
1.	T.27B	R	30,60	26,53	24,80
		S	26,05	22,03	20,33
		T	21,56	17,64	16,00

Pengukuran intensitas :

1) Terhadap jalan tol

$$E_{R1} = \frac{V_{LN}}{R_{R1} \ln(2 \cdot h_{R1}/r)}$$

$$E_{R1} = \frac{86.602}{30,60 \ln(2 \cdot 29,797/0,0224)} = 358,86 \text{ V/m}$$

$$E_{S1} = \frac{V_{LN}}{R_{S1} \ln(2 \cdot h_{S1}/r)}$$

$$E_{S1} = \frac{86.602}{26,05 \ln(2 \cdot 25,097/0,0224)} = 386,42 \text{ V/m}$$

$$E_{T1} = \frac{V_{LN}}{R_{T1} \ln(2 \cdot h_{T1}/r)}$$

$$E_{T1} = \frac{86.602}{21,56 \ln(2 \cdot 20,397/0,0224)} = 535,05 \text{ V/m}$$

$$E_{total} = E_{R1} + E_{S1} + E_{T1} + E_{R2} + E_{S2} + E_{T2} \\ = 358,86 + 386,42 + 535,05 + 358,86 + 386,42 + 535,05 \\ = 2.560,66 \text{ V/m} \\ = 2,566 \text{ kV/m}$$

Jadi, intensitas medan listrik pada jalan tol sebesar 2,566 kV/m.



Gambar 1. Intensitas Medan Listrik Ke Titik Uji Jalan Tol

2) Intensitas terhadap kendaraan yang melintasi jalan tol

$$E_{R1} = \frac{V_{LN}}{R_{R1} \ln(2 \cdot h_{R1}/r)}$$

$$E_{R1} = \frac{86.602}{26,53 \ln(2 \cdot 29,797/0,0224)} = 413,92 \text{ V/m}$$

$$E_{S1} = \frac{V_{LN}}{R_{S1} \ln(2 \cdot h_{S1}/r)}$$

$$E_{S1} = \frac{86.602}{22,03 \ln(2 \cdot 25,097/0,0224)} = 509,56 \text{ V/m}$$

$$E_{T1} = \frac{V_{LN}}{R_{T1} \ln(2 \cdot h_{T1}/r)}$$

$$E_{T1} = \frac{86.602}{17,64 \ln(2 \cdot 20,397/0,0224)} = 653,95 \text{ V/m}$$

$$E_{total} = E_{R1} + E_{S1} + E_{T1} + E_{R2} + E_{S2} + E_{T2}$$

$$= 413,92 + 509,56 + 653,95 + 413,92 + 509,56 + 653,95$$

$$= 3.154,86 \text{ V/m}$$

$$= 3,154 \text{ kV/m}$$

Jadi, intensitas medan listrik pada kendaraan yang melintasi jalan tol yaitu mobil dengan ketinggian maksimal 4,2 meter sebesar 3,154 kV/m.



Gambar 2. Intensitas Medan Listrik Ke Titik Uji Mobil

1) Intensitas medan listrik terhadap *safety net*

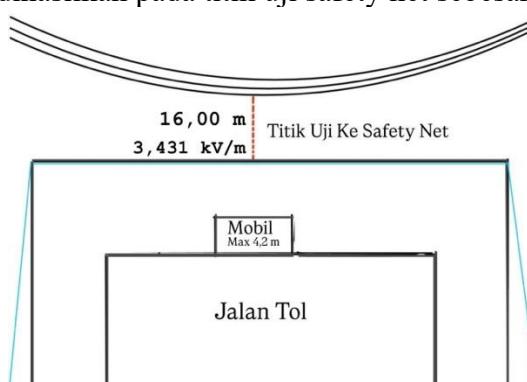
$$E_{R1} = \frac{V_{LN}}{R_{R1} \ln(2 \cdot h_{R1}/r)}$$

$$E_{R1} = \frac{86.602}{24,80 \ln(2 \cdot 29,797/0,0224)} = 442,79 \text{ V/m}$$

$$E_{S1} = \frac{V_{LN}}{R_{S1} \ln(2 \cdot h_{S1}/r)}$$

$$\begin{aligned}
 E_{S1} &= \frac{86.602}{20,33 \ln \left(\frac{2 \times 25,097}{0,0224} \right)} \\
 &= 552,17 \text{ V/m} \\
 E_{T1} &= \frac{V_{LN}}{R_{T1} \ln \left(\frac{2 \cdot h_{T1}}{r} \right)} \\
 E_{T1} &= \frac{86.602}{16,00 \ln \left(\frac{2 \times 20,397}{0,0224} \right)} \\
 &= 720,98 \text{ V/m} \\
 E_{total} &= E_{R1} + E_{S1} + E_{T1} + E_{R2} + E_{S2} + E_{T2} \\
 &= 442,79 + 552,17 + 720,98 + 442,79 + 552,17 + 720,98 \\
 &= 3.431,88 \text{ V/m} \\
 &= 3,431 \text{ kV/m}
 \end{aligned}$$

Jadi, intensitas yang dihasilkan pada titik uji safety net sebesar 3,431 kV/m.



Gambar 3. Intensitas Medan Listrik Ke Titik Uji Safety Net

Perhitungan Intensitas Medan Listrik Pada T.41.

Untuk menentukan posisi konduktor,maka:

Karena ini tipe tower AA, maka posisi konduktor tergantung di isolator jadi untuk posisi konduktornya di kurangi dengan ukuran isolator.

Posisi konduktor terpasang + elevasi – isolator

T.41

$$\begin{aligned}
 h_{R1} &= 31,436 + 3,069 - 2,04 = 32,435 \text{ m} \\
 h_{S1} &= 26,736 + 3,069 - 2,04 = 27,735 \text{ m} \\
 h_{T1} &= 22,036 + 3,069 - 2,04 = 23,035 \text{ m}
 \end{aligned}$$

T.41A

$$\begin{aligned}
 h_{R1} &= 37,475 + 1,950 = 39,422 \text{ m} \\
 h_{S1} &= 32,775 + 1,950 = 34,722 \text{ m} \\
 h_{T1} &= 28,072 + 1,950 = 30,22 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Konduktor pada tower tertinggi yaitu T.41A – konduktor pada tower terendah yaitu T.41

$$\begin{aligned}
 \Delta h &= T_2 - T_1 \\
 &= 30,022 - 23,035 \\
 &= 6,987 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi, beda ketinggian pada tower T.41A dan T.41 adalah 6,987 meter.

Dikarenakan pada bentang ini tower T.41 lebih rendah dari tower T.28A maka digunakan data pada tower T.41 sebagai jarak titik uji pada perhitungan intensitas medan listrik di lokasi kedua.

Untuk menentukan posisi konduktor ketanah setelah andongan, maka:
Posisi konduktor terpasang – Andongan.

$$\begin{aligned}h_{RI} &= R - \text{Andongan} \\h_{R1} &= 32,435 - 5,95 = 26,48 \text{ m} \\h_{S1} &= 27,735 - 5,95 = 21,78 \text{ m} \\h_{T1} &= 23,035 - 5,95 = 17,08 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk menentukan jarak konduktor ke titik uji, maka:
Posisi konduktor setelah andongan – Ketinggian jalan tol.

$$\begin{aligned}R_{RI} &= R_{RI} - \text{Ketinggian jalan tol} \\R_{R1} &= 26,48 - 5,384 = 21,096 \text{ m} \\R_{S1} &= 21,78 - 5,384 = 16,396 \text{ m} \\R_{T1} &= 17,08 - 5,384 = 11,696\end{aligned}$$

Dikarenakan pada bentang ini konduktor kiri dan kanan memiliki ketinggian tower yang berbeda dan agar tidak menghitung E dua kali (E_{R2} , E_{S2} , E_{T2}) digunakan rumus dinamis phytagoras ditambah dengan jarak panjang lengan untuk memposisikan konduktor kiri dan kanan.

$$\begin{aligned}&= \sqrt{R_{RI}^2 + \text{Jarak lengan}^2} \\R_{R1} &= \sqrt{21,096^2 + 7^2} = 22,22 \text{ m} \\R_{S1} &= \sqrt{16,396^2 + 7^2} = 17,82 \text{ m} \\R_{T1} &= \sqrt{11,696^2 + 7^2} = 13,63 \text{ m}\end{aligned}$$

Hasil di atas sudah didapatkan jarak konduktor ke titik uji pertama yaitu jalan tol.
Untuk menentukan jarak konduktor ketitik uji kendaraan yang melintasi jalan tol yaitu mobil dengan ketinggian mobil maksimal 4,2 meter, maka:

$$\begin{aligned}R_{RI} &= R_{RI} - \text{Ketinggian Mobil} \\R_{R1} &= 22,22 - 4,2 = 18,02 \text{ m} \\R_{S1} &= 17,82 - 4,2 = 13,62 \text{ m} \\R_{T1} &= 13,63 - 4,2 = 9,43 \text{ m}\end{aligned}$$

Dikarenakan pada bentang ini konduktor kiri dan kanan memiliki ketinggian tower yang berbeda dan agar tidak menghitung E dua kali (E_{R2} , E_{S2} , E_{T2}) digunakan rumus dinamis phytagoras ditambah dengan jarak panjang lengan untuk memposisikan konduktor kiri dan kanan.

$$\begin{aligned}R_{RI} &= \sqrt{R_{RI}^2 + \text{Jarak lengan}^2} \\R_{R1} &= \sqrt{18,02^2 + 7^2} = 18,28 \text{ m} \\R_{S1} &= \sqrt{13,62^2 + 7^2} = 14,06 \text{ m} \\R_{T1} &= \sqrt{9,43^2 + 7^2} = 10,25 \text{ m}\end{aligned}$$

Maka, hasil ini dapat di gunakan untuk pengukuran intensitas medan listrik dengan titik uji yaitu kendaraan yang melintasi jalan tol.

Untuk menentukan jarak konduktor ketitik uji safety net yang memiliki ketinggian 6 meter dari permukaan jalan tol, maka:

$$\begin{aligned}R_{RI} &= R_{RI} - \text{Ketinggian safety net dari permukaan jalan tol} \\R_{R1} &= 21,096 - 6 = 15,096 \text{ m} \\R_{S1} &= 16,396 - 6 = 10,396 \text{ m} \\R_{T1} &= 11,696 - 6 = 5,696 \text{ m}\end{aligned}$$

Dikarenakan pada bentang ini konduktor kiri dan kanan memiliki ketinggian tower yang berbeda dan agar tidak menghitung E dua kali (E_{R2} , E_{S2} , E_{T2}) digunakan rumus

dinamis phthagoras ditambah dengan jarak panjang lengan untuk memposisikan konduktor kiri dan kanan.

$$R_{RI} = \sqrt{R_{RI}^2 + Jarak\ lengan^2}$$

$$R_{R1} = \sqrt{15,096^2 + 7^2} = 16,63\ m$$

$$R_{S1} = \sqrt{10,396^2 + 7^2} = 12,53\ m$$

$$R_{T1} = \sqrt{5,696^2 + 7^2} = 9,02\ m$$

Maka, hasil ini dapat di gunakan untuk pengukuran intensitas medan listrik dengan titik uji yaitu *safety net*.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Clearance Konduktor Terhadap Titik Uji

No.	Tower	Fasa Konduktor	Titik Uji Jalan Tol (m)	Titik Uji Kendaraan (m)	Titik Uji Safety Net (m)
1.	T.41	R	22,22	18,28	16,63
		S	17,82	14,06	12,53
		T	13,63	10,25	9,02

Pengukuran intensitas:

1) Terhadap jalan tol

$$E_{R1} = \frac{V_{LN}}{R_{R1} \ln(2 \cdot h_{R1}/r)}$$

$$E_{R1} = \frac{86.602}{22,22 \ln(2 \cdot 15,096/0,0224)} = 516,84\ V/m$$

$$E_{S1} = \frac{V_{LN}}{R_{S1} \ln(2 \cdot h_{S1}/r)}$$

$$E_{S1} = \frac{86.602}{17,82 \ln(2 \cdot 10,396/0,0224)} = 666,74\ V/m$$

$$E_{T1} = \frac{V_{LN}}{R_{T1} \ln(2 \cdot h_{T1}/r)}$$

$$E_{T1} = \frac{86.602}{13,63 \ln(2 \cdot 5,696/0,0224)} = 914,06\ V/m$$

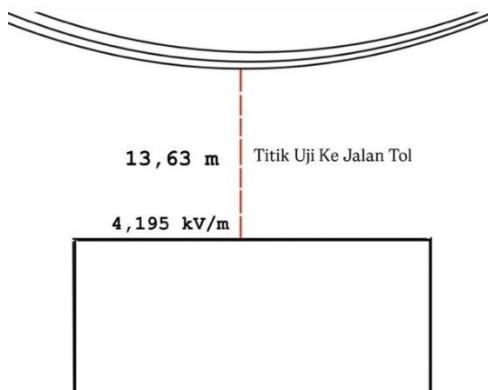
$$E_{total} = E_{R1} + E_{S1} + E_{T1} + E_{R2} + E_{S2} + E_{T2}$$

$$= 516,84 + 666,74 + 914,06 + 516,84 + 666,74 + 914,06$$

$$= 4.195,28\ V/m$$

$$= 4,195\ kV/m$$

Jadi, intensitas medan listrik pada jalan tol sebesar 4,195 kV/m.



Gambar 4. Intensitas Medan Listrik Ke Titik Uji Jalan Tol

1) Intensitas terhadap kendaraan yang melintasi jalan tol

$$E_{R1} = \frac{V_{LN}}{R_{R1} \ln(2 \cdot h_{R1}/r)}$$

$$E_{R1} = \frac{86.602}{18,28 \ln(2 \cdot 21,096/0,0224)} \\ = 628,24 \text{ V/m}$$

$$E_{S1} = \frac{V_{LN}}{R_{S1} \ln(2 \cdot h_{S1}/r)}$$

$$E_{S1} = \frac{86.602}{14,06 \ln(2 \cdot 16,396/0,0224)} \\ = 845,04 \text{ V/m}$$

$$E_{T1} = \frac{V_{LN}}{R_{T1} \ln(2 \cdot h_{T1}/r)}$$

$$E_{T1} = \frac{86.602}{10,25 \ln(2 \cdot 11,696/0,0224)} \\ = 1215,48 \text{ V/m}$$

$$E_{total} = E_{R1} + E_{S1} + E_{T1} + E_{R2} + E_{S2} + E_{T2} \\ = 628,24 + 845,04 + 1215,48 + 628,24 + 845,04 + 1215,48 \\ = 5.377,52 \text{ V/m} \\ = 5,337 \text{ kV/m}$$

Jadi, intensitas medan listrik pada kendaraan yang melintasi jalan tol yaitu mobil dengan ketinggian maksimal 4,2 meter sebesar 5,337 kV/m.



Gambar 5. Intensitas Medan Listrik Ke Titik Uji Mobil

1) Intensitas medan listrik terhadap *safety net*

$$E_{R1} = \frac{V_{LN}}{R_{R1} \ln(2 \cdot h_{R1}/r)}$$

$$E_{R1} = \frac{86.602}{16,63 \ln(2 \cdot 21,096/0,0224)} = 690,57 \text{ V/m}$$

$$E_{S1} = \frac{V_{LN}}{R_{S1} \ln(2 \cdot h_{S1}/r)}$$

$$E_{S1} = \frac{86.602}{12,53 \ln(2 \cdot 16,396/0,0224)} = 948,23 \text{ V/m}$$

$$E_{T1} = \frac{V_{LN}}{R_{T1} \ln(2 \cdot h_{T1}/r)}$$

$$E_{T1} = \frac{86.602}{9,02 \ln(2 \cdot 11,696/0,0224)} = 1.381,23 \text{ V/m}$$

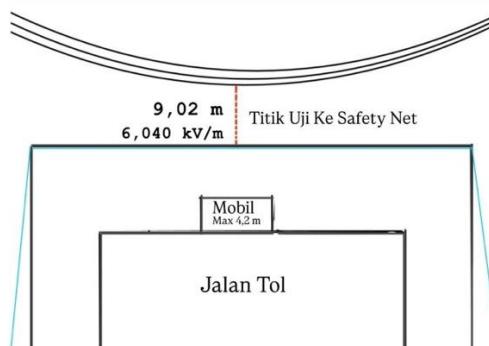
$$E_{total} = E_{R1} + E_{S1} + E_{T1} + E_{R2} + E_{S2} + E_{T2}$$

$$= 690,57 + 948,23 + 1.381,23 + 690,57 + 948,23 + 1.381,23$$

$$= 6.040,06 \text{ V/m}$$

$$= 6,040 \text{ kV/m}$$

Jadi, intensitas yang dihasilkan pada titik uji safety net sebesar 6,040 kV/m.



Gambar 6. Intensitas Medan Listrik Ke Titik Uji Safety Net

Tabel 4. Hasil perhitungan intensitas medan listrik terhadap titik uji

No.	Uraian	Terhadap Tol (kV/m)	Terhadap Mobil (kV/m)	Terhadap Safety Net (kV/m)
1.	T.27B	2,560	3,154	3,431
2.	T.41	4,195	5,337	6,040

Dari tabel di atas dapat di nyatakan bahwa intensitas medan listrik pada titik uji jalan tol paling rendah terdapat pada T.27B sebesar 2,560 kV/m. Sedangkan yang paling besar terdapat pada T.41 yang hasilnya yaitu 4,195 kV/m. Namun hasil ini masih tergolong aman karena masih di bawah 5 kV/m yang tercantum pada regulasi yang berlaku seperti SNI 04-6918-2002.

3.3 Analisa

1. Posisi konduktor, tinggi tower, dan panjang bentang telah dirancang sedemikian rupa agar andongan tetap aman. Andongan terbesar berada pada bentang T.41–T.41A sebesar 5,95 m, sedangkan terkecil pada bentang T.27B–T.28A sebesar 4,03 m, yang masih berada dalam rentang toleransi standar SPLN.
2. Intensitas medan listrik terhadap jalan tol yang terkecil berada pada T.27B yaitu sebesar 2,560 kV/m. Sedangkan pada T.41 didapatkan hasil intensitas medan listrik sebesar 4,195 kV/m yang di mana kedua hasil ini masih berada di bawah batas aman dengan maksimum 5 kV/m untuk pemaparan intensitas medan listrik selama 24 jam.
3. Meskipun terdapat nilai medan listrik yang melebihi batas pada titik tertentu, yaitu 6,040 kV/m di safety net, namun karena safety net berfungsi sebagai perisai yang di tanahkan (*grounded*), maka tidak terjadi paparan langsung kepada manusia maupun objek di bawahnya. Dengan demikian, dari sisi keselamatan elektromagnetik, relokasi SUTT 150 kV dinyatakan aman.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat disimpulkan adalah sebagai berikut :

1. Pada bentang T.27B-T.28A di dapatkan hasil andongan sebesar 4,03 dan pada T.41-T.41A di dapatkan hasil sebesar 5,95 m. Hasil andongan ini masih berada dalam rentang toleransi standar yang berlaku dari SPLN.
2. Intensitas medan listrik dapat di nyatakan bahwa pada titik uji jalan tol paling rendah terdapat pada T.27B sebesar 2,560 kV/m. Sedangkan yang paling besar terdapat pada T.41 yang hasilnya yaitu 4,195 kV/m. Namun hasil ini masih tergolong aman karena masih di bawah 5 kV/m yang tercantum pada regulasi yang berlaku seperti SNI 04-6918-2002.
3. Intensitas medan listrik dapat di nyatakan bahwa pada titik uji kendaraan yang melintasi jalan tol paling rendah terdapat pada T.27B sebesar 3,154 kV/m. Sedangkan yang paling besar terdapat pada T.41 yang hasilnya yaitu 5,337 kV/m. Namun hasil ini masih pada T.27B masih aman karena masih di bawah 5 kV/m sedangkan pada T.41 mendapatkan hasil di atas 5 kV/m. Namun, hasil tersebut aman karena berada di bawah safety net yang dimana berfungsi sebagai perisai yang di tanahkan (*grounded*).
4. Nilai intensitas medan listrik tertinggi di peroleh pada titik uji safety net sebesar 6,040 kV/m, tetapi medan listrik langsung di alirkan ke tanah oleh safety net. Karena safety net adalah sistem grounding berbentuk jaring logam di permukaan tanah yang berfungsi untuk mengalirkan medan listrik atau tegangan induksi ketanah, sehingga jika intensitas terhadap objek yang di titik ujikan berada di bawah safety net dan hasil perhitungannya melebihi standar yaitu 5 kV/m sesuai regulasi yang berlaku untuk lingkungan umum dengan waktu 24 jam, maka tetap aman.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, berkat karunia-Nya kami dapat menyelesaikan penelitian ini. Kami ucapkan terima kasih kepada dosen yang telah membimbing kami sehingga terciptanya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2002). Standar Nasional Indonesia Ruang bebas dan jarak bebas minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) Badan Standardisasi Nasional. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–5. www.bsn.go.id
- [2] Joedo, L. A. (2020). Peningkatan Batas Aman Induksi Elektromagnetik Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV Bagi Kesehatan Manusia Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 18 Tahun 2015 Juncto No. 2 Tahun 2019. *Kilat*, 9(1), 49–56. <https://doi.org/10.33322/kilat.v9i1.780>
- [3] Khoirunnisa, N., Inayah, N., Wiherdiansyah, F., & Adyano, I. K. D. (2024). *Studi Literatur Tentang Jenis dan Penyebab Gangguan Pada Saluran Transmisi*. 11(2), 569–573.
- [4] Nainggolan, D. V., Hindardi, & Yulianti, B. (2018). Analisis Pengaruh Efek Kuat Medan Listrik Saluran Tegangan Tinggi Transmisi 70 KV - 150 KV Pada Lingkungan Perumahan. *Journal Teknik Elektro*, 1(2), 123–139. <https://journal.universitassuryadarma.ac.id/index.php/jtin/article/download/211>
- [5] Rio Yusdizali, Dinda Sintia Dewi, Dewi Amalia, Egey Swandy Julian, Dhimas Prabowo, Seiga Alghifari, & Muhammad Abu Bakar Sidik. (2020). Perhitungan Kuat Medan Listrik di Bawah Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan Metode Kawat Bayangan. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 1(2), 83–89. <https://doi.org/10.36706/jres.v1i2.18>
- [6] Sumiyati, A., Rahman, P. S., Habil, M., Gusti, C., Melkior, D. A., Hidayat, J., & Aribowo, D. (2024). *Konsep Dasar Transmisi Tenaga Listrik : Klasifikasi , Komponen Serta Gangguannya*. 11(2), 612–617.
- [7] Tambunan, J. M., & Mulyono, H. (2020). Reposisi dan Penggantian Menara Transmisi 150 kV. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 21(2), 87. <https://doi.org/10.24912/tesla.v21i2.7179>
- [8] Wahyuddin, A. R. U. (2023). *Analisis Kuat Medan Listrik dan Intensitas Medan Magnet dengan menggunakan kawat terhadap Nominal Diameter Penghantar*. 87(1,2), 149–200.