

ANALISIS MEDAN LISTRIK DI SEKITAR KABEL LISTRIK MENGGUNAKAN INTEGRAL PERMUKAAN PENDEKATAN VEKTOR UNTUK DISTRIBUSI MEDAN ELEKTROSTATIK

Alvi Sahrin Nasution¹, Hamidah Nasution², Ellys Rebecca Simanjuntak³, Arief Rachman Pakpahan⁴, Rina Intan Amelia⁵, N. Aulia Asy Syifaa⁶, Khalista Amelia⁷
alvisahrin@unimed.ac.id¹, hamida_mat67@yahoo.com², elissimanjuntak25@gmail.com³,
ariefrachman.4242530003@mhs.unimed.ac.id⁴, rinaintanamelia20@gmail.com⁵,
syifaaanun@gmail.com⁶, khalistaamelia2905@gmail.com⁷

Universitas Negeri Medan

ABSTRAK

Medan listrik merupakan fenomena fisika yang muncul akibat adanya muatan listrik dan memengaruhi ruang di sekitarnya. Salah satu contoh penerapan konsep ini dapat dilihat pada distribusi medan listrik di sekitar kabel listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi medan listrik di sekitar kabel listrik menggunakan pendekatan integral permukaan berbasis vektor. Metode yang digunakan adalah pendekatan analisis matematis dengan memanfaatkan simetri silinder dan penerapan Hukum Gauss untuk menghitung fluks medan listrik melalui permukaan tertutup. Data yang digunakan berupa jarak pengamatan dari kabel, muatan per satuan panjang kabel, serta nilai permitivitas ruang hampa. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa besar medan listrik bergantung pada muatan per satuan panjang kabel dan jarak radial dari kabel. Nilai medan listrik semakin besar ketika jarak pengamatan semakin dekat dengan kabel dan akan menurun seiring bertambahnya jarak.

Kata Kunci: Medan Listrik, Kabel Listrik, Integral Permukaan Vektor, Hukum Gauss, Distribusi Medan Listrik, Muatan Per Satuan Panjang, Elektrostatika.

ABSTRACT

An electric field is a physical phenomenon that arises due to the presence of an electric charge and affects the surrounding space. One example of the application of this concept can be seen in the distribution of electric fields around electric cables. This study aims to analyze the distribution of electric fields around electric cables using a vector-based surface integral approach. The method used is a mathematical analysis approach by utilizing cylindrical symmetry and the application of Gauss's Law to calculate the electric field flux through a closed surface. The data used are the observation distance from the cable, the charge per unit length of the cable, and the permittivity value of free space. The calculation results show that the magnitude of the electric field depends on the charge per unit length of the cable and the radial distance from the cable. The value of the electric field increases as the observation distance gets closer to the cable and will decrease with increasing distance.

Keywords: *Electric Fields, Electric Cables, Vector Surface Integrals, Gauss's Law, Electric Field Distribution, Charge Per Unit Length, Electrostatics.*

PENDAHULUAN

Medan listrik merupakan wilayah yang terletak di sekitar suatu muatan listrik dan masih dipengaruhi oleh gaya listrik. (Kurnia et al., 2025) Medan listrik dapat pula terbentuk secara alami melalui akumulasi muatan di atmosfer seperti pemicu petir. Selain itu, medan listrik dapat pula terbentuk oleh alat-alat listrik bertegangan tinggi seperti generator, motor, atau pada sistem distribusi tegangan listrik. Medan listrik di sekitar alat-alat listrik memiliki pengaruh lebih besar dibanding medan listrik alami. (Herawan et al., 2020)(Kurnia et al., 2025) Medan listrik dapat pula terbentuk secara alami melalui akumulasi muatan di atmosfer seperti pemicu petir. Selain itu, medan listrik dapat pula terbentuk oleh alat-alat listrik bertegangan tinggi seperti generator, motor, atau pada

sistem distribusi tegangan listrik. Medan listrik di sekitar alat-alat listrik memiliki pengaruh lebih besar dibanding medan listrik alami. (Herawan et al., 2020) Sistem tenaga listrik menggunakan alat-alat bertegangan tinggi, termasuk konduktor dan kabel sebagai media transmisi dan distribusi. Transmisi merupakan proses penyaluran energi listrik dalam skala besar dari pembangkit menuju gardu melalui jaringan dengan tegangan tinggi. Sedangkan distribusi adalah proses pengiriman energi listrik dari gardu kepada pengguna. Karakteristik medan listrik khususnya di sekitar kabel perlu dipahami dan diketahui karena dampak yang disebabkan oleh medan listrik terhadap lingkungan sekitar perlu dianalisis dan dipantau.

Hukum Coulomb, yang menjelaskan mengenai gaya elektromagnetik antara dua muatan listrik sebanding dengan hasil kali muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan. Garis-garis medan listrik perlu diketahui untuk menjelaskan arah dan besar medan di titik-titik. Rumus medan listrik dapat diturunkan melalui Hukum Coulomb, yaitu:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{q}{r^2}$$

(Kurnia et al., 2025)

Selain bersumber pada hukum coulomb, hukum gauss juga berperan dalam membantu perhitungan fluks listrik pada permukaan tertutup seperti kabel silindris. Perbedaan potensial listrik dapat diselesaikan dengan memodelkannya ke persamaan diferensial parsial, salah satunya persamaan poisson dengan prinsip elektrostatis. (Susanti et al., 2019) Integral medan vektor dan potensial listrik dapat menjadi pendekatan yang dapat memudahkan visualisasi dan perhitungan intensitas medan listrik lebih tepat. (Susanti et al., 2019) Integral medan vektor dan potensial listrik dapat menjadi pendekatan yang dapat memudahkan visualisasi dan perhitungan intensitas medan listrik lebih tepat.

Analisis distribusi medan listrik perlu dilakukan karena berkaitan dengan identifikasi titik kritis pada sistem isolasi kabel. Simulasi yang dilakukan pada kabel tegangan menengah mengungkapkan bahwa intensitas medan listrik yang paling kuat umumnya ditemukan pada bagian isolasi XLPE yang berbatasan langsung dengan konduktor utama. (Sijabat et al., 2020) Besar kekuatan medan listrik yang timbul dapat ditentukan dengan konfigurasi geometri dan jarak radikal dari pusat kabel. Ini menunjukkan bahwa intensitas medan listrik akan menurun seiring bertambahnya jarak titik pengamatan dari pusat kabel. Analisis distribusi medan listrik perlu dilakukan karena berkaitan dengan identifikasi titik kritis pada sistem isolasi kabel. Simulasi yang dilakukan pada kabel tegangan menengah mengungkapkan bahwa intensitas medan listrik yang paling kuat umumnya ditemukan pada bagian isolasi XLPE yang berbatasan langsung dengan konduktor utama. (Sijabat et al., 2020) Besar kekuatan medan listrik yang timbul dapat ditentukan dengan konfigurasi geometri dan jarak radikal dari pusat kabel. Ini menunjukkan bahwa intensitas medan listrik akan menurun seiring bertambahnya jarak titik pengamatan dari pusat kabel.

Dimensi keamanan bagi masyarakat dan lingkungan juga dianalisis selain aspek teknis pada material. Perhitungan intensitas medan listrik pada saluran transmisi diperlukan untuk menjamin nilainya berada dalam batas aman sesuai dengan regulasi pemerintah yang telah ditetapkan. (Zainaldi et al., 2025) Langkah perhitungan tersebut dilakukan guna mereduksi potensi dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat yang beraktivitas di area sekitar jalur distribusi listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam distribusi medan listrik di sekitar kabel listrik dengan pendekatan integral permukaan dan pendekatan

vektor. Penelitian ini dapat memperkuat gambaran mengenai pengaruh jarak medan listrik dari kabel terhadap intensitas medan elektrostatik dalam kajian sistem kelistrikan dan standar keamanan lingkungan.

TINJAUAN PUSTAKA

Medan listrik merupakan suatu fenomena fisika yang timbul akibat keberadaan muatan listrik dalam suatu ruang di sekitarnya. Wilayah yang masih dipengaruhi oleh sifat kelistrikan dari suatu muatan disebut sebagai medan listrik. Secara alami, medan listrik dapat terbentuk akibat akumulasi muatan listrik di atmosfer, yang sering dikaitkan dengan peristiwa petir. Selain itu, medan listrik juga dapat dihasilkan oleh berbagai peralatan listrik bertegangan, seperti generator, motor listrik, transformator, serta sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik. Pada dasarnya, medan listrik muncul sebagai akibat dari keberadaan muatan listrik, baik berupa elektron, ion, maupun proton, yang memengaruhi ruang di sekitarnya. Contoh medan listrik dapat dilihat pada elektroda pelat paralel kapasitor dengan luas S , jarak d , dan muatan $+Q$ dan $-Q$ (Herawan, et al., 2020).

Hukum Coulomb, yang diperkenalkan oleh Charles-Augustin de Coulomb pada tahun 1785, merupakan salah satu dasar utama dalam kajian elektrostatika. Hukum ini menyatakan bahwa gaya elektrostatik yang bekerja antara dua muatan berbanding lurus dengan hasil kali besar kedua muatan tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak pemisahannya (Gulo & Gea, 2024). Berdasarkan hukum ini, persamaan medan listrik dapat diturunkan dari hubungan gaya yang terjadi antara dua muatan listrik.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Medan listrik E dihasilkan oleh sebuah muatan titik Q pada jarak r dari muatan tersebut dan diberikan oleh:

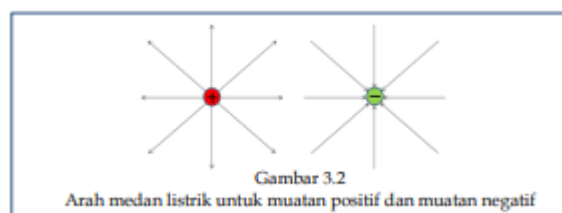
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{r^2} \quad (\text{Kurnia, et al., 2025}).$$

Dalam analisis medan listrik, hubungan struktural dan analitis yang didasarkan pada Hukum Gauss digunakan untuk memahami distribusi medan pada berbagai geometri muatan. Pada kasus kabel listrik yang dapat dimodelkan sebagai muatan garis, medan listrik memiliki bentuk:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon r}$$

yang menunjukkan bahwa besar medan berbanding terbalik dengan jarak dari kabel. Dengan memanfaatkan integral permukaan dalam pendekatan vektor, fluks listrik dapat dihitung melalui permukaan Gaussian berbentuk silinder yang simetris terhadap kabel. Pendekatan ini memungkinkan penentuan distribusi medan elektrostatik secara lebih sistematis dan akurat, khususnya pada sistem dengan simetri tinggi seperti kabel listrik lurus (Salah, 2025).

Sebagai dasar dalam menganalisis distribusi medan listrik di sekitar kabel listrik, penting untuk memahami konsep garis-garis medan listrik yang merepresentasikan arah dan besar medan listrik di suatu titik.



Gambar tersebut menunjukkan bahwa medan listrik dapat divisualisasikan melalui garis-garis gaya listrik yang menggambarkan arah medan di sekitar suatu muatan. Pada muatan positif, garis medan listrik menjauhi muatan, sedangkan pada muatan negatif garis medan mengarah menuju muatan. Visualisasi ini membantu dalam memahami perilaku medan listrik sebelum dilakukan analisis yang lebih kompleks menggunakan pendekatan vektor.

Secara kuantitatif, karakteristik medan listrik dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kerapatan garis-garis medan listrik menggambarkan besar kuat medan listrik. Semakin rapat garis-garis tersebut, semakin besar medan listrik di daerah tersebut.
2. Arah medan listrik pada setiap titik selalu mengikuti arah garis singgung garis gaya listrik (Rizal, 2023).

Selain itu, digunakan pula konsep integral medan vektor untuk menghitung kontribusi medan pada suatu lintasan. Integral garis pada medan vektor dinyatakan sebagai;

$$\int_C \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l}$$

menyatakan integral garis dari suatu medan vektor sepanjang lintasan C , dengan:

- \mathbf{F} : medan vektor yang dianalisis (misalnya medan listrik atau medan gaya)
- $d\mathbf{l}$: elemen vektor kecil sepanjang lintasan C
- C : lintasan atau kurva tempat integrasi dilakukan (Kim, 2025).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Putera et al., 2016) menganalisis distribusi medan listrik pada *lightning arrester* 20 kV menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas dan distribusi medan listrik dipengaruhi oleh kondisi material, geometri, serta adanya kontaminan seperti air garam, debu, dan rongga udara yang dapat menyebabkan perubahan signifikan pada nilai medan listrik. Selain itu, perbedaan kondisi operasi seperti tegangan nominal dan arus impuls juga berpengaruh terhadap besar medan listrik yang dihasilkan. Penelitian ini menjadi acuan dalam memahami distribusi medan listrik pada sistem tegangan tinggi, yang selanjutnya dalam penelitian ini difokuskan pada analisis medan listrik di sekitar kabel menggunakan pendekatan integral permukaan berbasis vektor.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis matematis, yang bertujuan untuk menganalisis distribusi medan listrik di sekitar kabel listrik menggunakan konsep integral permukaan berbasis vektor.

1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif kuantitatif, yaitu penelitian yang bertujuan untuk menggambarkan fenomena fisika berupa medan listrik secara matematis melalui pendekatan teori elektrostatika.

2. Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- **Pendekatan teoritis**, yaitu menggunakan konsep:
 - Hukum Gauss
 - Medan listrik
 - Potensial listrik
 - Integral permukaan dan integral vektor
- **Pendekatan matematis**, yaitu dengan menurunkan persamaan medan listrik menggunakan:

- Integral permukaan
- Persamaan diferensial (persamaan Laplace)

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dV}{dr} \right) = 0$$

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dV}{dr} \right) = 0$$

3. Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah:

- Medan listrik di sekitar kabel listrik panjang yang memiliki distribusi muatan merata.
- Sistem dianalisis dengan asumsi:
 - Kabel berbentuk silinder panjang (mendekati tak hingga)
 - Muatan terdistribusi merata sepanjang kabel
 - Medan listrik bersifat simetris radial

4. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dan data asumsi fisika, yaitu:

- Nilai muatan per satuan panjang kabel (λ)
- Nilai permitivitas ruang hampa (ϵ_0)
- Variasi jarak dari kabel (r)

Data tersebut tidak diperoleh dari eksperimen langsung, melainkan menggunakan nilai standar dalam fisika dan variasi parameter untuk analisis matematis.

5. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian dilakukan sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Mengkaji teori yang relevan, seperti:

- Hukum Coulomb
- Hukum Gauss
- Medan listrik dan potensial listrik
- Integral vektor

b. Pemodelan Sistem

- Memodelkan kabel sebagai distribusi muatan linear
- Menentukan sistem koordinat silinder
- Menentukan permukaan Gauss berbentuk silinder

c. Penurunan Persamaan

- Menggunakan Hukum Gauss untuk memperoleh medan listrik: Menghitung fluks listrik melalui permukaan silinder

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

- Menggunakan persamaan potensial listrik: Menurunkan medan listrik dari fungsi potensial

d. Perhitungan Numerik

- Menghitung nilai medan listrik pada beberapa variasi jarak:
 - $r = 0,05$ m
 - $r = 0,25$ m
 - $r = 0,5$ m
 - $r = 1$ m
- Menggunakan rumus:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

e. Analisis Data

- Membandingkan nilai medan listrik terhadap jarak
- Mengidentifikasi hubungan matematis antara:
 - Medan listrik (E)
 - Jarak (r)

f. Visualisasi

- Menyajikan hasil dalam bentuk:
 - Tabel
 - Grafik hubungan medan listrik terhadap jarak

6. Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan dengan:

- Analisis matematis, yaitu: Menurunkan dan menyederhanakan persamaan
- Analisis komparatif, yaitu: Membandingkan nilai medan listrik pada berbagai jarak
- Analisis grafik, yaitu: Menginterpretasikan hubungan antara variabel

7. Asumsi Penelitian

Untuk menyederhanakan analisis, digunakan beberapa asumsi:

- Kabel dianggap sangat panjang (tak hingga)
- Distribusi muatan seragam
- Tidak ada pengaruh medan luar
- Medium adalah ruang hampa

8. Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada:

- Analisis teoritis (tidak eksperimen langsung)
- Sistem satu kabel lurus
- Tidak mempertimbangkan faktor lingkungan seperti:
 - kelembaban
 - gangguan eksternal
 - material sekitar



Gambar X. Flowchart penelitian analisis medan listrik di sekitar kabel listrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penurunan Medan Listrik dengan Pendekatan Integral Permukaan

Analisis medan listrik di sekitar kabel dapat dijelaskan dengan menggunakan prinsip Hukum Gauss. Prinsip ini menyatakan bahwa jumlah fluks medan listrik yang melewati suatu permukaan tertutup berbanding lurus dengan total muatan yang berada di dalam permukaan tersebut (Kurnia et al., 2025). Secara matematis dinyatakan sebagai:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

Untuk kabel panjang dengan muatan yang terdistribusi secara merata, digunakan permukaan Gauss berbentuk silinder yang memiliki jari-jari r dan panjang L . Pemilihan bentuk ini didasarkan pada kesimetrian sistem, sehingga medan listrik hanya bergantung pada jarak radial dari kabel (Herawan et al., 2020).

Dalam menghitung integral permukaan, permukaan silinder dibagi menjadi tiga bagian, yaitu selimut silinder, tutup atas, dan tutup bawah. Namun, karena arah medan listrik bersifat radial (keluar dari pusat kabel), hanya bagian selimut silinder yang berkontribusi terhadap fluks listrik, sedangkan tutup atas dan bawah tidak memberikan kontribusi (Arafat et al., 2024). Karena besar medan listrik E konstan pada seluruh selimut silinder (akibat simetri), maka:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int E dA = E \int dA$$

Integral luas permukaan silinder adalah:

$$\int dA = 2\pi rL$$

Sehingga diperoleh:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = E(2\pi rL)$$

Selanjutnya, berdasarkan Hukum Gauss, fluks medan listrik yang telah dihitung sama dengan total muatan yang dilingkupi oleh permukaan Gauss dibagi dengan permitivitas ruang hampa. Secara matematis dinyatakan sebagai:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

Muatan yang dihitung di dalam permukaan Gauss itu berasal dari muatan yang tersebar di sepanjang kabel. Biasanya, ini dinyatakan sebagai muatan per satuan panjang, yang kita tulis dengan λ . Jadi, λ ini menggambarkan seberapa banyak muatan yang ada di setiap bagian panjang kabel. Oleh karena itu, muatan total yang berada di dalam permukaan tersebut dapat dituliskan sebagai:

$$Q_{enc} = \lambda L$$

Selanjutnya, dilakukan penyederhanaan dengan menghilangkan faktor L pada kedua ruas persamaan, sehingga diperoleh:

$$E(2\pi r) = \frac{\lambda}{\epsilon_0}$$

Untuk memperoleh bentuk medan listrik E , kedua ruas dibagi dengan $2\pi r$, sehingga diperoleh:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa medan listrik berbanding terbalik dengan jarak radial dari kabel, yang konsisten dengan penelitian simulasi medan listrik pada kabel transmisi tegangan tinggi (Sun et al., 2024).

B. Penurunan Medan Listrik melalui Potensial Listrik

Selain melalui integral permukaan, medan listrik juga dapat dianalisis menggunakan pendekatan potensial listrik, yang dinyatakan dengan hubungan:

$$\vec{E} = -\nabla V$$

Untuk sistem dengan simetri silinder, persamaan Laplace dinyatakan sebagai:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dV}{dr} \right) = 0$$

$$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dV}{dr} \right) = 0$$

Selanjutnya dilakukan integrasi terhadap r , sehingga diperoleh:

$$r \frac{dV}{dr} = C_1$$

di mana C_1 merupakan konstanta integrasi.

$$\int \frac{C_1}{r} dr$$

$$\int \frac{C_1}{r} dr = C_1 \int \frac{1}{r} dr$$

$$\int \frac{1}{r} dr = \ln |r|$$

$$C_1 \int \frac{1}{r} dr = C_1 \ln |r|$$

$$V(r) = C_1 \ln |r| + C_2$$

$$V(r) = C_1 \ln r + C_2$$

Untuk menentukan nilai konstanta C_1 dan C_2 , digunakan hubungan antara potensial listrik dan medan listrik, yaitu:

$$E = -\frac{dV}{dr}$$

Substitusikan bentuk potensial yang telah diperoleh:

$$E = -\frac{d}{dr} (C_1 \ln r + C_2)$$

Karena turunan dari $\ln r$ adalah $1/r$, maka diperoleh:

$$E = -\frac{C_1}{r}$$

Selanjutnya, hasil ini dibandingkan dengan bentuk medan listrik yang telah diperoleh sebelumnya melalui pendekatan **Hukum Gauss**, yaitu:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

Dengan menyamakan kedua persamaan tersebut, diperoleh:

$$-\frac{C_1}{r} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

Sehingga:

$$C_1 = -\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0}$$

Substitusikan nilai C_1 ke persamaan potensial:

$$V(r) = -\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln r + C_2$$

Persamaan ini dapat ditulis ulang menjadi bentuk yang lebih umum:

$$V(r) = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{r_0}{r} \right)$$

Berdasarkan hubungan antara medan listrik dan potensial, medan listrik dapat diperoleh dari turunan negatif potensial terhadap jarak, yaitu:

$$E = -\frac{dV}{dr}$$

Dengan mensubstitusikan bentuk potensial yang telah diperoleh, maka:

$$E = -\frac{d}{dr} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{r}{r_0} \right)$$

Karena turunan dari fungsi logaritma $\ln(r)$ adalah $1/r$, dan $\ln(r_0)$ merupakan konstanta, maka diperoleh:

$$E = -\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{r}$$

Sehingga medan listrik dapat dituliskan sebagai:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

C. Perhitungan dari Data yang ada

Tabel Karakteristik pada data

Jarak dari kabel (m)	Muatan persatuan panjang kabel	Permitivitas ruang hampa
0,25	$3 \times 10^{-6} \text{ C/m}$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$
0,5	$3 \times 10^{-6} \text{ C/m}$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$
1	$3 \times 10^{-6} \text{ C/m}$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$
0,05	$3 \times 10^{-6} \text{ C/m}$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$

1. Untuk $r = 0,25 \text{ m}$

$$E = \frac{3 \times 10^{-6}}{2\pi(8,85 \times 10^{-12})(0,25)}$$

Hitung penyebut:

$$\begin{aligned} 2\pi &= 6,283 \\ (8,85 \times 10^{-12})(0,25) &= 2,2125 \times 10^{-12} \\ 6,283 \times 2,2125 \times 10^{-12} &= 1,39 \times 10^{-11} \end{aligned}$$

Maka:

$$E = \frac{3 \times 10^{-6}}{1,39 \times 10^{-11}}$$

$$E = 2,16 \times 10^5 \text{ N/C}$$

2. Untuk $r = 0,50 \text{ m}$

$$E = \frac{3 \times 10^{-6}}{2\pi(8,85 \times 10^{-12})(0,50)}$$

Hitung penyebut:

$$(8,85 \times 10^{-12})(0,50) = 4,425 \times 10^{-12}$$

$$6,283 \times 4,425 \times 10^{-12} = 2,78 \times 10^{-11}$$

Maka:

$$E = \frac{3 \times 10^{-6}}{2,78 \times 10^{-11}}$$

$$E = 1,08 \times 10^5 \text{ N/C}$$

3. Untuk $r = 1,00 \text{ m}$

$$E = \frac{3 \times 10^{-6}}{2\pi(8,85 \times 10^{-12})(1,00)}$$

Hitung penyebut:

$$(8,85 \times 10^{-12})(1) = 8,85 \times 10^{-12}$$

$$6,283 \times 8,85 \times 10^{-12} = 5,56 \times 10^{-11}$$

Maka:

$$E = \frac{3 \times 10^{-6}}{5,56 \times 10^{-11}}$$

$$E = 5,40 \times 10^4 \text{ N/C}$$

4. Perhitungan untuk $r = 0,05 \text{ m}$

$$E = \frac{3 \times 10^{-6}}{2\pi(8,85 \times 10^{-12})(0,05)}$$

Hitung penyebut:

$$2\pi(8,85 \times 10^{-12})(0,05)$$

$$= 6,2832 \times 0,4425 \times 10^{-12}$$

$$= 2,78 \times 10^{-12}$$

Kemudian:

$$E = \frac{3 \times 10^{-6}}{2,78 \times 10^{-12}}$$

$$E = 1,08 \times 10^6 \text{ N/C}$$

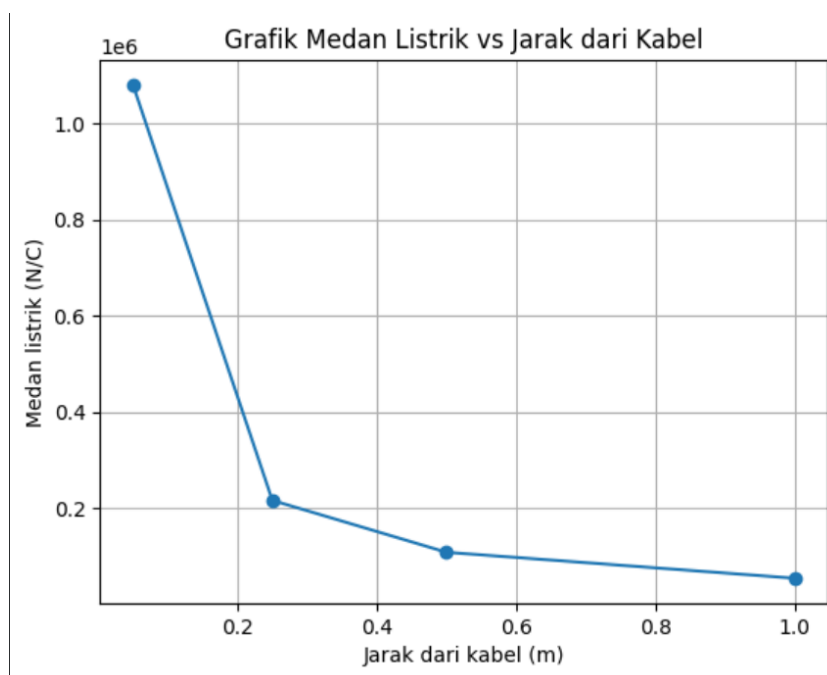
Maka Perbandingan hasilnya

Jarak dari kabel (m)	Medan listrik (N/C)
0,25	$2,16 \times 10^5$
0,5	$1,8 \times 10^5$
1	$5,40 \times 10^4$
0,05	$1,08 \times 10^6$

Dari tabel tersebut terlihat bahwa semakin jauh jarak dari kabel, medan listrik semakin kecil. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa medan listrik di sekitar kabel bergantung pada jarak radial dari kabel dan besar muatan per satuan panjang kabel. Pada jarak 0,5 m diperoleh medan listrik sebesar $1,08 \times 10^5 \text{ N/C}$. Nilai ini menurun ketika jarak pengamatan diperbesar. Hal ini sesuai dengan persamaan $E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$ yang menunjukkan bahwa medan listrik berbanding terbalik dengan jarak dari kabel. Oleh karena itu, semakin jauh suatu titik dari kabel listrik maka pengaruh medan listrik yang dirasakan akan semakin kecil.

Penurunan medan listrik yang signifikan seiring bertambahnya jarak ini sesuai dengan hasil penelitian simulasi numerik pada saluran transmisi tegangan tinggi yang menunjukkan bahwa intensitas medan listrik berkurang secara eksponensial dengan pertambahan jarak dari konduktor (Su et al., 2024).

D. VISUALISASI HASIL



Gambar 1. Grafik Perbandingan medan listrik dengan jarak

Grafik menunjukkan hubungan antara jarak dari kabel (r) dengan besar medan listrik (E). Terlihat bahwa medan listrik memiliki nilai yang sangat besar pada jarak yang sangat dekat dengan kabel, yaitu pada $r = 0,05$ m, dengan nilai sekitar $1,08 \times 10^6$ N/C. Namun, ketika jarak semakin diperbesar, medan listrik mengalami penurunan yang cukup signifikan. Penurunan paling drastis terjadi dari $r = 0,05$ m ke $r = 0,25$ m, yang menunjukkan bahwa medan listrik sangat sensitif terhadap perubahan jarak pada posisi yang dekat dengan sumber muatan. Setelah itu, penurunan medan listrik cenderung lebih landai, seperti terlihat pada interval 0,25 m hingga 1 m. Bentuk grafik yang menurun ini menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara medan listrik dan jarak, sesuai dengan persamaan:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

Artinya, semakin besar jarak dari kabel, maka medan listrik akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena garis-garis medan listrik menyebar ke ruang yang lebih luas sehingga kerapatannya berkurang. Secara fisik, hasil ini menegaskan bahwa pengaruh medan listrik dari kabel akan paling kuat dirasakan di daerah yang sangat dekat dengan kabel, dan akan semakin melemah seiring bertambahnya jarak.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, distribusi medan listrik di sekitar kabel listrik dapat dijelaskan menggunakan pendekatan integral permukaan medan vektor. Dengan memanfaatkan permukaan Gauss berbentuk silinder yang mengelilingi kabel, diperoleh bahwa besar medan listrik bergantung pada muatan per satuan panjang kabel dan jarak radial dari kabel. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa medan listrik berbanding terbalik dengan jarak dari kabel, sehingga semakin dekat jarak pengamatan maka medan listrik yang dihasilkan semakin besar, sedangkan semakin jauh jaraknya maka medan listrik semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan integral permukaan vektor dapat digunakan secara efektif untuk menganalisis distribusi medan listrik di sekitar kabel listrik.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan variasi data yang lebih banyak, seperti perubahan nilai muatan per satuan panjang kabel, jenis kabel, atau kondisi lingkungan di sekitar kabel untuk memperoleh analisis medan listrik yang lebih lengkap. Selain itu, penggunaan metode simulasi atau perangkat lunak pemodelan juga dapat dilakukan untuk memvisualisasikan distribusi medan listrik secara lebih detail sehingga hasil analisis menggunakan pendekatan integral permukaan vektor dapat dibandingkan dengan hasil simulasi dan memberikan pemahaman yang lebih akurat mengenai penyebaran medan listrik di sekitar kabel.

DAFTAR PUSTAKA

- Arafat, Y., Porkar, E. B., & Ghassemi, M. (2024). Electric field calculation and comparative analysis of conventional and unconventional transmission lines. *IEEE Access*, 12, 178038–178046. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3479623>
- Gulo, C., E., N., & Nethania Nonifati Roselin Gea, N., N., R. (2024). ANALISIS HUKUM COULOMB DALAM DINAMIK MUATAN LISTRIK. *IDENTIK: Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 1(3): 13-18.
- Arafat, Y., Porkar, E. B., & Ghassemi, M. (2024). Electric field calculation and comparative analysis of conventional and unconventional transmission lines. *IEEE Access*, 12, 178038–178046.

- <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3479623>
- Herawan, M. R. F., Hamdani, D., & Hariyanto, N. (2020). Pemodelan dan Simulasi Medan Listrik pada Jaringan Distribusi 20 kV Double Feeder Konstruksi 3B. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 4(November), 109–132.
- Kim, Y. (2025). A Biot-Savart Formulation for the Magnetic Field of a Finite-Length Solenoid. *STA Journal of Student Research*, 1(1):1-11.
- Kurnia, M., Winarni, K., A., Akhsan, H., (2025). MEDAN LISTRIK STATIS OLEH MUATAN DISKRIT, MUATAN KONTINU DALAM TEKNOLOGI (SEBUAH TINJAUAN). *Journal Online Of Physics*, 10(2): 44–53. <https://doi.org/10.22437/jop.v10i2.38849>
- Rizal, R. (2023). *Konsep Dasar Listrik Statis*. CV. Bayfa Cendekia Indonesia.
- Salah, A. R. M. (2025). Gauss's law: Electric flux and field distributions. Shorouk Academy, Department of Engineering. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32873.97124>
- Sijabat, J. P., Danial, I., Rajagukguk, M., Studi, P., Teknik, S., Elektro, J. T., Teknik, F., Tanjungpura, U., & Method, F. E. (2020). Simulasi distribusi potensial dan medan listrik pada kabel bawah tanah menggunakan femm. *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, 8(1).
- Su, R., Yan, Y., Hao, F., Sun, H., Chen, P., & Zhang, T. (2024). Environmental impact assessment and control technologies for electromagnetic fields in high voltage AC transmission lines. *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing*, 127, 89–104.
- Sun, Y., Liu, H., & Wang, X. (2024). Electric field calculation of transmission lines based on CSM and analysis of fiber optical cable hanging points. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 9(1), Article 217. <https://doi.org/10.1186/s40807-025-00217-4>
- Susanti, R. J., Noviani, E., & Fran, F. (2019). PEMODELAN MATEMATIS UNTUK PERSAMAAN BEDA POTENSIAL LISTRIK. *Buletin Ilmiah Mat. Stat. Dan Terapannya (Bimaster)*, 08(4), 691–698.
- Zainaldi, I., Ridal, Y., & Rauf, R. (2025). Studi Analisis Pengaruh Intensitas Medan Listrik pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV di Jalur Lubuk Alung – Padang Industrial Park - Pauh Limo. *Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil)*, 6(2), 45–58.