

Dampak Kapasitansi Terhadap Sebaran Tegangan Isolator Rantai Transmisi Tegangan Tinggi**Ali Nurdin¹**¹*Program Studi Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang*
alinurdin@polsri.ac.id¹*Received 3 Oktober 2025 | Revised 18 September 2025 | Accepted 9 Januari 2026***ABSTRAK**

Pada sistem transmisi tenaga listrik, isolator berfungsi sebagai pemisah antara konduktor bertegangan tinggi dengan bagian menara yang terhubung ke tanah. Salah satu jenis isolator yang umum digunakan adalah isolator tipe pin, yang memiliki kemampuan kerja hingga mencapai 80 kV. Namun, pada jaringan transmisi dengan tegangan di atas 50 kV, isolator tipe rantai lebih sering digunakan karena mampu menahan tegangan yang lebih besar serta memberikan jarak isolasi yang lebih fleksibel dan aman. Secara konstruktif, isolator tersusun dari bahan porselin yang memiliki sifat isolatif tinggi, dengan elektroda-elektroda logam yang diapit di kedua ujungnya. Dari sudut pandang elektrik, isolator dapat dimodelkan sebagai rangkaian beberapa elemen kapasitif. Nilai kapasitansi pada setiap elemen dapat meningkat apabila permukaan isolator tertutup oleh lapisan penghantar akibat kelembapan udara, polusi, debu, atau kotoran lainnya. Akibatnya, distribusi tegangan pada rantai isolator menjadi tidak merata. Elemen isolator yang berdekatan dengan konduktor mengalami tegangan tertinggi karena berinteraksi langsung dengan potensial saluran, sedangkan elemen yang lebih dekat dengan menara mengalami penurunan tegangan secara bertahap. Penelitian ini bertujuan membandingkan tegangan yang diterima isolator ketika pengaruh kapasitansi diabaikan dengan kondisi ketika kapasitansi antarkeping isolator dan kapasitansi shunt ke tanah turut diperhitungkan. Dari hasil analisis, diperoleh bahwa tanpa adanya pengaruh kapasitansi, setiap isolator mengalami tegangan yang sama, yaitu 86,6 kV. Namun, ketika kapasitansi dimasukkan ke dalam perhitungan, distribusi tegangannya menjadi tidak merata dan menunjukkan variasi, dengan nilai terendah hingga tertinggi terjadi pada isolator yang berada paling dekat dengan kawat fasa. Pemahaman terhadap distribusi tegangan ini sangat penting untuk merancang sistem isolasi yang efisien dan menjamin keandalan operasi jaringan transmisi tegangan tinggi.

Kata Kunci : Distribusi tegangan, isolator rantai, kapasitansi

In electric power transmission systems, insulators serve as a separator between high-voltage conductors and the tower portion connected to the ground. One commonly used type of insulator is the pin-type insulator, which has a working capacity of up to 80 kV. However, in transmission networks with voltages above 50 kV, chain-type insulators are more frequently used because they can withstand higher voltages and provide more flexible and safe isolation distances. Structurally, insulators are composed of highly insulating porcelain, with metal electrodes sandwiched at both ends. From an electrical perspective, an insulator can be modeled as a series of several capacitive elements. The capacitance value of each element can increase if the insulator surface is covered by a conducting layer due to air humidity, pollution, dust, or other impurities. As a result, the voltage distribution in the insulator chain becomes uneven. Insulator elements closest to the conductor experience the highest voltage due to direct interaction with the line potential, while elements closer to the tower experience a gradual decrease in voltage. This study aims to compare the voltage received by insulators when the effect of capacitance is ignored with the condition when the capacitance between the insulator plates and the shunt capacitance to the ground are also taken into account. From the analysis results, it was found that without the influence of capacitance, each insulator experiences the same voltage, namely 86.6 kV. However, when capacitance is included in the calculation, the voltage distribution becomes uneven and shows variations, with the lowest to highest values occurring on the insulators closest to the phase wire. Understanding this voltage distribution is very important for designing an efficient insulation system and ensuring the operational reliability of high-voltage transmission networks. Understanding this voltage distribution is crucial for designing efficient isolation systems and ensuring the reliable operation of high-voltage transmission networks.

Keywords: Voltage distribution, chain insulator, capacitance

I. PENDAHULUAN

Perkembangan sistem tenaga listrik menuntut penggunaan komponen yang andal, salah satunya adalah isolator. Isolator berfungsi sebagai penyangga mekanis konduktor sekaligus sebagai pemisah listrik antara konduktor dengan struktur penyangganya. Dalam aplikasi praktis, isolator tipe rantai (suspension insulator) lebih banyak digunakan pada jaringan transmisi tegangan tinggi, khususnya di atas 50 kV, karena mampu

menahan tegangan dan beban mekanis yang besar (Aryanto, 2012, Hutaeruk, 1996). Pemahaman mengenai karakteristik isolator, khususnya distribusi tegangan pada setiap unit isolator dalam suatu rangkaian, menjadi aspek penting dalam perancangan maupun pemeliharaan sistem transmisi.

Isolator pada umumnya terbentuk dari bahan porselin yang diapit oleh elektroda-elektroda, sehingga secara elektrik dapat dianggap sebagai rangkaian kapasitansi. Nilai kapasitansi tersebut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti kelembapan udara, debu, dan kotoran yang menempel pada permukaan isolator. Faktor-faktor ini dapat menghasilkan lapisan penghantar listrik yang meningkatkan kapasitansi permukaan. Akibat dari kondisi tersebut, distribusi tegangan pada isolator rantai menjadi tidak seragam (Gustiana, 2020).

Fenomena ketidakseimbangan distribusi tegangan ini menyebabkan isolator yang berada paling dekat dengan konduktor menerima tegangan lebih tinggi dibandingkan dengan isolator lain yang posisinya lebih mendekati menara. Keadaan tersebut dapat mengurangi kinerja isolator, mempercepat munculnya pelepasan muatan sebagian (*partial discharge*), bahkan berpotensi menyebabkan kegagalan isolasi. Oleh sebab itu, analisis mengenai distribusi tegangan pada isolator rantai sangat penting dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistem transmisi tenaga listrik sekaligus memperpanjang umur operasi isolator.

Penelitian-penelitian sebelumnya hanya meninjau tegangan yang diterima masing-masing isolator tanpa mempertimbangkan adanya kapasitansi antarkeping maupun kapasitansi shunt ke tanah. Pada penelitian ini, pembahasan diperluas dengan membandingkan tegangan yang muncul pada isolator ketika pengaruh kapasitansi diabaikan dengan tegangan yang terjadi saat kapasitansi antarisolator dan kapasitansi shunt ke tanah turut diperhitungkan.

II. METODE PENELITIAN

A. TINJAUAN PUSTAKA

Isolator pada jaringan transmisi diklasifikasikan menurut penggunaan dan konstruksinya menjadi tiga jenis isolator yang umum digunakan. Pertama jenis isolator duduk (*pin type*) umumnya digunakan untuk tegangan kerja sampai 25 KV, dengan menggunakan dua, tiga atau empat isolator maka dapat diperoleh tegangan kerja sampai 45 KV, 66 KV atau lebih tinggi. Tidak digunakannya isolator jenis pin ini untuk tegangan lebih tinggi hanya didasarkan pada faktor ekonomis saja. Kedua Jenis isolator tarik (*strain type*) yang biasanya digunakan pada tiang atau menara akhir suatu jaringan transmisi tegangan tinggi, atau pada persimpangan dan belokkan dimana transmisi harus berubah arah (Aryanto, 2021, Kumar, 2015). Ketiga jenis isolator rantai atau gantung (*suspension type*) umumnya digunakan pada jaringan transmisi tegangan tinggi. Pada jenis isolator ini, konduktor digantung di bagian bawah rangkaian isolator. Setiap isolator dihubungkan satu sama lain menggunakan rantai logam sehingga membentuk susunan beberapa isolator untuk memperoleh tegangan kerja yang diinginkan. Rantai logam yang menghubungkan antar-isolator tersebut menimbulkan medan elektrostatis yang cukup kuat akibat aliran arus pada penghantar sistem transmisi (Gonen, 2014, Yoshihide, 2007). Umumnya, tipe isolator suspensi digunakan dalam bentuk rangkaian paralel untuk mendapatkan kekuatan mekanis atau gaya tarik yang lebih besar.

Penelitian-penelitian sebelumnya umumnya hanya membahas distribusi tegangan pada rangkaian kapasitor tanpa mempertimbangkan nilai kapasitansi antarisolator maupun kapasitansi shunt. Dalam penelitian ini, dianalisis tegangan yang diterima isolator ketika pengaruh kapasitansi diabaikan, tegangan yang muncul saat hanya kapasitansi antarisolator diperhitungkan, serta distribusi tegangan ketika kapasitansi antarisolator dan kapasitansi shunt ke tanah dimasukkan sekaligus. Ketiga kondisi tersebut kemudian dibandingkan, dengan hasil bahwa pada kondisi tanpa efek kapasitansi, setiap isolator menerima tegangan sebesar 86,6 kV, sedangkan ketika pengaruh kapasitansi diperhitungkan, distribusi tegangannya menjadi tidak merata dan cenderung meningkat pada isolator yang posisinya paling dekat dengan kawat fasa.

1. Kelebihan Isolator Rantai

Tegangan kerja pada isolator jenis pin dapat mencapai sekitar 80 kV, namun jenis isolator rantai lebih umum digunakan, terutama pada jaringan transmisi tegangan tinggi di atas 50 kV, dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut. Setiap unit isolator dirancang untuk menahan tegangan kerja yang relatif rendah, sehingga nilai tegangan sistem transmisi yang dibutuhkan dapat dicapai dengan menambahkan sejumlah isolator sesuai kebutuhan (Gustiana, 2020, Fang Wang, 2008). Apabila terjadi kerusakan pada salah satu elemen isolator, maka elemen isolator lainnya masih mampu berfungsi dengan baik sebagai media isolasi, sehingga kontinuitas sistem tetap terjaga.

Apabila pada bagian tertentu dari jaringan transmisi dibutuhkan kekuatan isolasi yang lebih tinggi, hal tersebut dapat dicapai dengan mudah, yaitu dengan menambahkan beberapa rantai isolator tambahan. Fleksibilitas konduktor penghantar sangat baik karena setiap isolator dihubungkan satu sama lain melalui klem-klem, sehingga konduktor dapat berayun bebas dalam batas jarak tertentu. Konduktor yang membawa arus pada jaringan transmisi digantung di bagian bawah isolator, sedangkan isolator digantung pada lengan menara transmisi (Ebrahimi, 2015). Dengan demikian, menara transmisi berperan sebagai batang pelindung terhadap

sambaran petir, sehingga kemungkinan kegagalan sistem perlindungan petir dapat diminimalkan. Kondisi ini terjadi karena sambaran petir cenderung mengenai titik tertinggi yang bersifat logam, dalam hal ini menara transmisi.

2. Karakteristik Isolator

Isolator tersusun atas badan porselin yang diapit oleh elektroda-elektroda. Oleh karena itu, isolator dapat dimodelkan sebagai kumpulan beberapa kapasitansi. Nilai kapasitansi tersebut dapat meningkat akibat terbentuknya lapisan penghantar listrik yang disebabkan oleh kelembapan udara, debu, serta kotoran lain yang menempel pada permukaan isolator. Adanya kapasitansi ini menyebabkan distribusi tegangan listrik pada rangkaian rantai isolator menjadi tidak merata. Potensial tegangan pada bagian isolator yang berdekatan dengan konduktor atau ujung saluran memiliki nilai paling tinggi, sedangkan potensial tersebut berangsur menurun hingga mencapai bagian isolator yang terletak paling dekat dengan menara (Fang Wang, 2008).

Tegangan lompatan bunga api (*flashover voltage*) pada isolator terdiri atas tegangan lompatan bunga api frekuensi rendah, impuls, dan tegangan tembus. Tegangan lompatan bunga api frekuensi rendah dalam kondisi kering merupakan tegangan lompatan bunga api yang muncul ketika tegangan diberikan di antara dua elektroda isolator yang bersih dan kering permukaannya. Nilai tegangan tersebut bersifat konstan dan menjadi nilai dasar dari karakteristik isolator (Yoshihide, 2007). Sementara itu, tegangan lompatan bunga api dalam kondisi basah adalah tegangan lompatan bunga api yang timbul ketika tegangan diterapkan di antara elektroda isolator yang basah akibat curah hujan.

Selain harus memenuhi karakteristik listrik sebagaimana dijelaskan di atas, isolator juga perlu memiliki kekuatan mekanis untuk menopang beban konduktor penghantar yang diisolasinya. Porselin sebagai komponen utama dari suatu isolator harus memiliki sifat seperti besi cor dengan kekuatan tekan yang tinggi, diperkirakan sepuluh kali lebih besar, serta kekuatan tarik yang lebih rendah dengan nilai antara 400 kg/cm² hingga 900 kg/cm². Porselin harus terbebas dari lubang, goresan, serta retakan, dan wajib memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu secara mendadak serta terhadap benturan dari luar. Gaya tarik pada isolator yang telah terpasang relatif besar, sehingga kekuatan porselin beserta bagian-bagian yang disemenkan padanya harus dibuat lebih kuat dibandingkan dengan kekuatan bagian logamnya.

Tahanan isolasi pada permukaan isolator yang bersih sangat tinggi. Nilai tahanannya dapat menurun hingga beberapa mega ohm apabila permukaan menjadi kotor karena isolator dipasang di daerah industri, tepi laut, atau wilayah dengan tingkat polusi udara yang tinggi. Ketika tegangan tinggi diterapkan pada isolator tersebut, lapisan permukaan yang lembab akan menguap dan menimbulkan busur api lokal yang selanjutnya akan terus membesar hingga terjadi lompatan bunga api (Gustiana, 2020).

3. Distribusi Tegangan Isolator

Pada isolator rantai yang panjang, tegangan yang diterima oleh setiap elemen isolator tidak terdistribusi secara merata. Ketidakseimbangan ini disebabkan oleh adanya pengaruh kapasitansi pada struktur isolator tersebut. Pertama, terdapat kapasitansi antara penghubung isolator rantai atau kapasitansi yang terdiri atas elemen isolator (C). Kedua, kapasitansi antara penghubung isolator rantai dengan tanah atau kapasitansi shunt terhadap tanah (Ce). Ketiga, kapasitansi antara penghubung isolator rantai dengan elektroda tegangan tinggi atau kapasitansi shunt elektroda tegangan tinggi (Ch) (Karunaratne, 2017, Murthy, 2007). Seluruh kapasitansi tersebut menyebabkan distribusi tegangan yang tidak merata pada setiap isolator. Isolator yang paling dekat dengan konduktor penghantar akan menerima tegangan tertinggi, dan besarnya tegangan akan menurun secara signifikan pada isolator yang lebih dekat ke menara transmisi.

4. Distribusi Tegangan tanpa Ce dan Ch

Apabila kapasitansi antara penghubung rantai isolator dengan tanah (Ce) serta kapasitansi Ch diabaikan, maka kondisi ini akan sama seperti ketika isolator diberi tegangan searah. Pada tegangan searah, distribusi besarnya tegangan akan merata pada setiap isolator. Dalam rantai isolator tersebut mengalir arus bocor, dan tegangan pada satu elemen isolator sama dengan arus bocor dikalikan dengan tahanan tiap isolator (Murthy, 2007). Jika setiap elemen isolator memiliki nilai yang sama, maka distribusi tegangannya pun akan seragam, yaitu $V_1 = V_2 = \dots = V_n$. Adapun nilai V_n dapat dinyatakan dengan rumus $V_n = V/N$, di mana V_n adalah tegangan pada elemen ke-n dari rantai isolator, V merupakan tegangan total yang diterima rantai isolator, dan N adalah jumlah elemen pada rantai isolator tersebut.

5. Distribusi Tegangan dengan Memperhitungkan Ce

Dalam keadaan isolator rantai yang sudah dibebani tegangan tertentu, akan timbul medan listrik diantara penghubung isolator dengan penghubung isolator yang lain, antara penghubung dengan menara transmisi dan antara penghubung isolator dengan kawat penghantar yang digantungkan pada isolator rantai tersebut. Medan listrik yang terjadi tersebut dapat dianalogikan dengan kapasitansi-kapasitansi. Jika dibandingkan dengan besar

kapasitansi sendiri dari elemen isolator rantai C, nilai C_e memang jauh lebih kecil, namun pada kenyataannya tidak dapat diabaikan karena berpengaruh terhadap distribusi tegangan pada isolator rantai yang digunakan. Formulasi yang diterapkan untuk menghitung distribusi tegangan pada isolator rantai untuk kasus dengan memperhitungkan kapasitansi C_e seperti terlihat dibawah ini,

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_e}{c}} \quad (1)$$

$$V_n = \frac{V \cdot \sinh \cdot \alpha \cdot n}{\sinh \cdot \alpha \cdot a} \quad (2)$$

dengan:

V_n = Tegangan Isolator ke n

n = Isolator ke n

a = Jumlah isolator

6. Distribusi Tegangan dengan Memperhitungkan C_e dan C_h

Pada saat isolator diberi tegangan, akan timbul medan listrik antara elektroda penghubung isolator dengan elektroda penghubung isolator lainnya, antara elektroda dengan tanah atau menara, serta antara elektroda dengan kawat penghantar yang digantung pada isolator rantai tersebut. Medan listrik yang muncul tersebut dapat disetarakan dengan kapasitansi antara elektroda dengan elektroda C, antara elektroda dengan menara C_e , dan kapasitansi antara elektroda dengan penghantar C_h .

$$K = \sqrt{\frac{C_e + C_h}{c}} \quad (3)$$

$$P = \frac{n}{a} \quad (4)$$

$$V_n = \frac{V}{C_e + C_h} \left[\frac{C_e \cdot \sinh KP}{\sinh k} + C_h \left[1 - \frac{\sinh K (1-P)}{\sinh K} \right] \right] \quad (5)$$

dengan:

n = Isolator ke n

a = Jumlah isolator

V_n = Tegangan Isolator ke n

C_e = kapasitansi antara elektroda dengan menara

C_h = kapasitansi yang terjadi antara elektroda dengan penghantar

B. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan deskriptif-analitis, yang dipilih karena fokus penelitian terletak pada proses pengumpulan, pengkajian, serta analisis terhadap karakteristik dan distribusi tegangan pada isolator tipe pin maupun tipe rantai. Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan berbagai sumber referensi, baik berupa buku ajar, jurnal ilmiah, standar teknis, maupun laporan penelitian. Literatur yang digunakan dipilih berdasarkan tingkat relevansinya dengan topik penelitian, khususnya yang membahas mengenai konstruksi isolator, sifat elektriknya sebagai rangkaian kapasitansi, serta faktor-faktor lingkungan seperti kelembaban, debu, dan kotoran yang berpengaruh terhadap kinerja isolator.

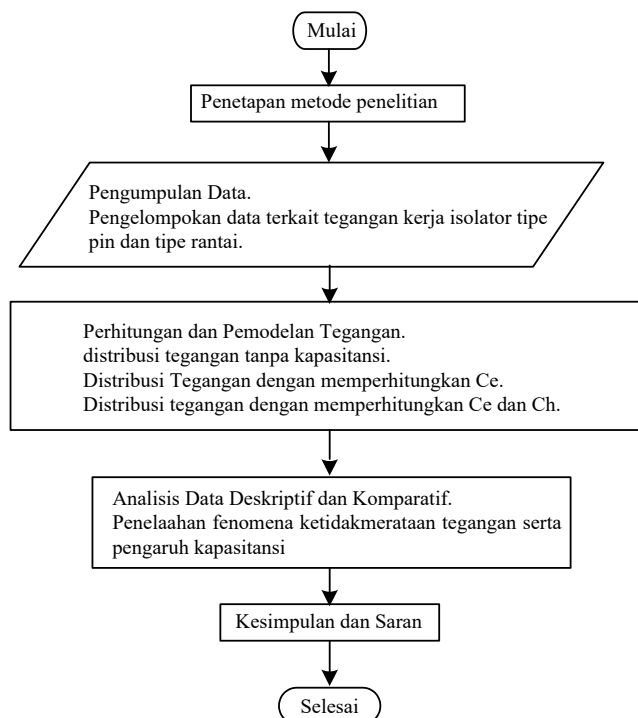
Setelah data terkumpul, dilakukan proses identifikasi, klasifikasi, serta perhitungan tegangan pada isolator yang mencakup beberapa aspek, yaitu tegangan kerja isolator tipe pin, penggunaan isolator tipe rantai pada tegangan tinggi, model kapasitansi pada isolator, serta fenomena distribusi tegangan pada rangkaian isolator rantai. Proses ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih terstruktur mengenai perbedaan karakteristik dan performa dari kedua jenis isolator tersebut.

Tahapan selanjutnya adalah analisis data yang dilakukan secara deskriptif dan komparatif dengan menggunakan pendekatan perhitungan. Analisis ini difokuskan untuk mengkaji fenomena distribusi tegangan pada isolator rantai yang cenderung tidak merata, di mana konsentrasi tegangan tertinggi terdapat pada bagian isolator yang berdekatan dengan konduktor, sedangkan nilai tegangan menurun pada bagian isolator yang dekat dengan menara. Selain itu, analisis juga difokuskan pada pengaruh kondisi lingkungan terhadap perubahan nilai kapasitansi isolator, yang dapat memperparah ketidakmerataan distribusi tegangan tersebut.

C. Urutan Pekerjaan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan penetapan metode penelitian yang digunakan, yaitu pendekatan deskriptif-analitis. Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan fenomena secara sistematis serta menganalisis

karakteristik dan distribusi tegangan pada isolator tipe pin maupun tipe rantai. Melalui metode ini, peneliti dapat menelaah data secara mendalam berdasarkan hasil pengumpulan dan kajian literatur yang relevan. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data dan sumber referensi, yang mencakup buku ajar, jurnal ilmiah, standar teknis, serta laporan penelitian terdahulu. Literatur dipilih secara selektif dengan mempertimbangkan kesesuaian terhadap topik penelitian, terutama yang berkaitan dengan struktur isolator, model kapasitansi, dan pengaruh faktor lingkungan seperti kelembapan, polusi, serta debu terhadap performa isolator. Data yang terkumpul kemudian diidentifikasi dan diklasifikasikan untuk memisahkan aspek-aspek utama penelitian, meliputi tegangan kerja isolator tipe pin, penggunaan isolator rantai pada sistem tegangan tinggi, serta model kapasitansi sebagai representasi sifat elektrik isolator. Selanjutnya dilakukan perhitungan dan pemodelan distribusi tegangan guna menganalisis ketidakmerataan tegangan pada isolator rantai. Tahap akhir berupa analisis deskriptif dan komparatif, yang menghasilkan kesimpulan serta rekomendasi untuk peningkatan efisiensi dan keandalan sistem isolasi pada jaringan transmisi tegangan tinggi. Urutan atau langkah penelitian terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Urutan Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bila kita ambil untuk kasus jaringan transmisi tegangan tinggi 150 kV dengan jumlah isolator rantai 8 buah dengan kapasitansi tiap isolator $C = 35 \text{ pF}$, kapasitansi terhadap tanah $C_e = 5 \text{ pF}$ dan $C_h = 0,5$. C_e akan didapat distribusi tegangan yang dirasakan oleh masing-masing isolator rantai adalah $150 \text{ kV}/\sqrt{3} = 86,60 \text{ kV}$ dan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Tegangan Tanpa Kapasitansi

Isolator ke	Besar Tegangan (kV)
1	86,60
2	86,60
3	86,60
4	86,60
5	86,60
6	86,60
7	86,60
8	86,60

A. Distribusi Tegangan Dengan Memperhitungkan C_e

Perhitungan distribusi dengan memperhitungkan C_e menggunakan Persamaan (1) dan (2) dengan data pada Tabel 1. Rekapitulasi hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 2.

Perhitungan distribusi tegangan isolator 1

$$\alpha = \sqrt{\frac{5}{35}} = 0.3779$$

$$V_n = \frac{86,60 \sinh(0.3779) \cdot 1}{\sinh(0.3779) \cdot 8} = 3.286 \text{ kV}$$

Tabel 2. Menunjukkan Distribusi Tegangan Dengan Adanya Pengaruh Kapasitansi Ce

Isolator ke	Besar Tegangan (KV)
1	3,268
2	7,000
3	11,761
4	18,200
5	27,299
6	40,330
7	59,188
8	86,600

B. Distribusi Tegangan Dengan Memperhitungkan Ce dan Ch

Perhitungan distribusi dengan memperhitungkan Ce dan Ch menggunakan Persamaan (3), (4) dan (5) dengan data pada Tabel 1. Rekapitulasi hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 3.

Perhitungan distribusi tegangan isolator 1

$$K = \sqrt{\frac{5 + 2,5}{35}} = 0,463$$

$$P = \frac{1}{8}$$

$$V_n = \frac{150/\sqrt{3}}{5+2,5} \left[\frac{5 \cdot \sinh(0,463(\frac{1}{8}))}{\sinh 0,463} + 2,5 \left[1 - \frac{\sinh 0,463 (1-1/8)}{\sinh 0,463} \right] \right] = 10,786 \text{ kV}$$

Tabel 3. Distribusi Tegangan Dengan Ce dan Ch

Isolator ke	Besar Tegangan (KV)
1	10,784
2	21,509
3	32,210
4	42,920
5	53,681
6	64,520
7	75,480
8	86,600

Tegangan yang diterima setiap isolator pada rangkaian bernilai 86,6 kV, dimulai dari isolator pertama yang berada paling dekat dengan kawat atau menara, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Ketika pengaruh kapasitansi diperhitungkan, distribusi tegangannya berubah, yakni meningkat secara bertahap dari nilai yang lebih rendah pada isolator yang berada dekat menara hingga mencapai sekitar 86,6 kV pada isolator yang posisinya paling dekat dengan kawat fasa. Perubahan distribusi ini dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa penyebaran tegangan pada rantai isolator tidak seragam. Bagian isolator yang berada paling dekat dengan konduktor menerima tegangan tertinggi, sedangkan pada elemen-elemen selanjutnya nilai tegangannya menurun seiring dengan jaraknya menuju menara transmisi. Keadaan ini menyebabkan beban tegangan berlebih pada beberapa isolator, yang berpotensi mempercepat kerusakan serta menurunkan tingkat keandalan sistem transmisi. Efisiensi kerja rantai isolator dapat ditingkatkan melalui upaya perbaikan distribusi tegangan, salah satunya dengan memperkecil perbandingan kapasitansi ke tanah terhadap kapasitansi antar elemen isolator. Metode yang dapat diterapkan adalah *capacitor grading* dan *static shielding*, yang terbukti mampu membuat distribusi tegangan lebih merata sehingga umur pakai isolator dapat diperpanjang serta keandalan sistem tenaga listrik dapat terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Karunaratne. S. (2017). *A New Approach to the Study of Voltage Distribution along a Suspension Insulator String*. ENGINEER - Vol. L, No. 02, Institution of Engineers, Sri Lanka.
- P.S.R. Murthy. (2007). *Power System analysis*. BS Publications, Hyderabad, India.
- Riza Aryanto. (2021). *Studi Distribusi Tegangan Dan Arus Bocor Pada Isolator Rantai Dengan Pembasahan*. Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang
- R. Ebrahimi. (2015). *Analysis of Pollution Impact on Potential Distribution of Suspension Type Discs Insulators in Overhead Lines*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences.
- Stevenson, W. D. Jr. (1982). *Elements of Power System Analysis. 4th editions*. McGraw-Hill International Book Co. New York.
- Simanta Kumar Samal. (2015). *Measurement Of Voltage Distribution On High Voltage Suspension Insulator String Under Polluted Condition*. Master thesis, Electrical Engineering, National Institute of Technology Rourkela, India.
- Turan Gönen. (2014). *Electrical Power Transmission System Engineering Analysis and Design. Third Edition*, CRC Press, New York.
- Vanisa Gustiana. (2020). *Analisa Perhitungan Distribusi Tegangan Dan Arus Bocor Pada Isolator Rantai*. Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Xi-Fan Wang, Yonghua Song, Malcolm Irving. (2008). *Modern Power Systems Analysis*. Springer Science, New York
- Yoshihide Hase. (2007). *Handbook of Power System Engineering*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England.