

STUDI EVALUASI DISTRIBUSI TEGANGAN PADA ISOLATOR RANTAI

Giovanni Giorgetta¹, Danial²

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura

Jln. Prof. H. Hadari Nawawi, Pontianak, Indonesia

Email : Ggiorgetta@studen.untan.ac.id

ABSTRACT

Untuk Memenuhi Tingkat Keandalan Yang Memadai Dalam Hubungan Dengan Kebutuhan Energi Listrik Di Siantan-Tayan, Yang Harus Meningkatkan Dari Waktu Ke Waktu, Dilakukan Penyaluran Daya Listrik Dalam Jumlah Yang Besar Pada Kelistrikan Siantan-Tayan Melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV. Penelitian Ini Bertujuan Untuk Menghitung Distribusi Tegangan Pada Isolator String Dan Efek Ketidak Seragaman Isolator Pada Jaringan Transmisi 150 KV Siantan-Tayan, Menggunakan Metode Pendekatan Diffrensial, Pengaruh Kapasitansi Masing-Masing Isolator (C), Pengaruh Kapasitansi Antara Sambungan Isolator Dengan Menara Atau Ground (Ce) Dan Pengaruh Kapasitansi Antara Sambungan Isolator Dengan Konduktor Tegangan Tinggi Ch.

Kata Kunci : Pengaruh Dari Kapasitansi C, Ce Dan Ch Terhadap Isolator, Jenis Isolator, Distribusi Tegangan Pada Isolator.

ABSTRACT

In Order To Meet An Adequate Level Of Reliability In Relation To The Demand For Electrical Energy In Siantan-Tayan, Which Must Increase From Time To Time, A Large Amount Of Electrical Power Is Distributed To Siantan-Tayan Electricity Through A 150 KV High Voltage Overhead Line (SUTT). This Study Aims To Calculate The Voltage Distribution On String Insulators And The Effect Of Insulator Unevenness On The Siantan-Tayan 150 KV Transmission Network, Using A Differential Approach Method, The Effect Of The Capacitance Of Each Insulator (C), The Effect Of Capacitance Between The Connection Of The Insulator And The Tower Or Ground (Ce) And The Effect Of Capacitance Between The Insulator Connection And The High Voltage Conductor Ch.

Key Words : The Effect Of Capacitance C, Ce And Ch On The Insulator, Type Of Insulator, The Distribution Of Stress On The Insulator.

I Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya Kebutuhan Listrik Pada Saat Ini Tentunya Akan Menambah Penggunaan Yang Berhubungan Dengan Peralatan Listrik. Dengan Mendapatkan Data Jumlah Jaringan Dan Kebutuhan Isolator Pada Suatu Jaringan Tentunya Kita Akan Memperoleh Data Perkiraan Isolator Terpasang Dan Pemakaiannya Kedepan. Dalam Aplikasinya Pada Sistem Jaringan Penyaluran Daya Listrik Terdapat Beberapa Peristiwa Yang Dapat Menyebabkan Terjadinya Kerusakan Isolator Pada Saluran Udara. Terjadinya Petir (*Surge*) Dan Operasi Hubung Buka (*Switching*) Dapat Menyebabkan Mengalirnya Arus Yang Dapat Menimbulkan Flashover Pada Isolator Saluran Udara. Apabila Terjadi Kerusakan Maka Posisi Isolator Yang Diharapkan Pecah Terlebih Dahulu Adalah Isolator Yang Posisinya Berdekatan Dengan Kawat Fasa Pada Saluran Udara. Akan Tetapi, Berdasarkan Tinjauan Lapangan Dilihat Bahwa Posisi Unit Isolator Yang Pecah Adalah Tidak Bergantung Terhadap Lokasi Kedekatannya Dengan Kawat Fasa. Hal tersebut Tentunya Mempengaruhi Besarnya Distribusi Tegangan Yang Dipikul Akibat Terpecahnya Salah Satu Renteng Isolator Pada Setiap Letak/Posisi Isolator Piring Porselin Dan Gelas Yang Pecah.

Menghitung Distribusi Potensial Dan Medan Listrik Pada Isolator String Adalah Metode Sederhana Untuk Mencari Tegangan Listrik Yang Dapat Membahayakan Sistem Dalam Operasi Jangka Panjang Atau Pada Waktu Yang Cukup Lama. Salah Satu Model Metode Diffrensial Adalah Menggunakan Program MATLAB Yang Digunakan Untuk Menghitung Distribusi Tegangan. Perhitungan Dengan Metode Diffrensial Ini Untuk Menampilkan Hasil Distribusi Tegangan Pada Isolator Saluran Udara Hampir Mendekati Hasil Di Lapangan. Karena Pada Isolator Terdapat Tiga Kelompok Kapasitansi Yaitu Kapasitansi Masing-Masing Isolator (C), Kapasitansi Antara Sambungan Isolator Dengan Menara Atau Ground (Ce) Dan Kapasitansi Antara Sambungan Isolator Dengan Konduktor Tegangan Tinggi Ch. Banyaknya Unit (Piring) Isolator Yang Digunakan Dan Kapasitansi C, Ce Dan Ch Akan Mempengaruhi Distribusi Tegangan Yang Dipikul Setiap Unit Isolator. Semakin Banyak Isolator Yang Digunakan Maka Distribusi Tegangan Yang Dipikul Setiap Isolator Akan Semakin Kecil. Idealnya Kurva Distribusi Tegangan Pada Isolator Rantai Adalah Bentuk Garis Lurus, Akan Tetapi Karena Pengaruh Ketiga Kapasitansi tersebut Maka Kurva Itu Sulit Dicapai.

Adapun Yang Menjadi Objek Rencana Penelitian Ini Adalah Isolator Keramik Pada Saluran Udara 150 KV Yang Digunakan Pada Jaringan Transmisi 150 KV Siantan-Tayan Pada PT. PLN (PESERO) PIKITRING KALIMANTAN Area

Pontianak Dengan Jenis Isolator Keramik Dengan Diameter 254 X 146 Mm. Dengan Demikian Tujuan Dari Penelitian Ini Adalah Menghitung Distribusi Tegangan Pada Isolator String Dan Efek Ketidak Seragaman Isolator. PT. PLN (Persero) Area Pontianak Agar Dapat Diketahui Stress Pada Isolator String Tidak Linier Pada Isolator Saluran Udara Yang Digunakan Tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun Yang Menjadi Perumusan Masalah Adalah Bagaimana Pengaruh Dari Ketiga Kapasitansi C, Ce Dan Ch Pada String Isolator Dimana Tegangan Terbesar Umumnya Terletak Pada Rentengan Isolator Yang Berdekatan Dengan Konduktor Tegangan Tinggi.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan Dari Penelitian Ini Adalah Untuk Membuat Simulasi Perhitungan Distribusi Tegangan Pada String Isolator Dengan Menggunakan Metode Diffrensial Pada Saluran Udara 150 KV.

1.4 Pembatasan Masalah

Adapun Yang Menjadi Pembatasan Masalah Adalah Menghitung Distribusi Tegangan Pada Isolator String Dan Efek Ketidak Seragaman Isolator, Nilai Kapasitansi Masing-Masing Isolator (C), Pengaruh Kapasitansi Antara Sambungan Isolator Dengan Menara Atau Ground (Ce) Dan Pengaruh Kapasitansi Antara Sambungan Isolator Dengan Konduktor Tegangan Tinggi Ch Di Ambil Dari Referensi Buku Peralatan Tegangan Tinggi Edisi Kedua Untuk Pengujian Di Jaringan Transmisi 150 KV Siantan-Tayan Pada PT. PLN (Persero) Area Pontianak.

1.5 Pemecah Masalah

Dalam Penulisan Ini Pemecahan Masalah Berdasarkan Teori-Teori Dan Data-Data Pustaka Yang Berkaitan Dengan Permasalahan Penentuan Jumlah Isolator Per Rentengan. Dalam Hal Ini Penyelesaian Masalah Perhitungan Dalam Penulisan Ini Dengan Metode Persamaan Diffrensial Menggunakan Bantuan Komputer.

II Isolator Saluran Transmisi

2.1 Jenis-Jenis Isolator Pada Saluran Transmisi

Dilihat Dari Fungsinya Isolator Terdiri Dari Isolator Pendukung Dan Isolator Gantung (Suspensiorr). Isolator Pendukung Terbagi Atas Tiga Jenis, Yaitu:

2.1.1 Isolator Pasak (*pin*)

Isolator Jenis Pin Umumnya Digunakan Sampai 33 KV. Dalam Setiap Kasus Tidak Diinginkan Menggunakan Isolator Ini Di Atas 50 KV Karena Biaya Isolator Lebih Mahal. Isolator Dan Pinnya Harus Mempunyai Kekuatan Mekanik Yang Tinggi Untuk Menahan Gaya Resultan Akibat Efek Gabungan Dari Berat Penghantar, Tekanan Angin Dan Pembebanan Es (Jika Ada) Per Panjang Span (Bentang). Isolator Jenis Pin Tidak Ekonomis Di Atas 33 Kv Untuk Mengisolasi Saluran-Saluran Hantaran Udara Terhadap Tegangan-Tegangan Yang Tinggi Dipergunakan Isolasi Jenis Suspension. Biasanya Terdiri Dari Lebih 1 Unit Yang Dihubungkan Bersama Untuk Membentuk String Isolator. Tiap-Tiap Isolator Adalah Porselin Berbentuk Clise Dengan Permukaan Bawah Berparit Untuk Memperbesar Lintasan Bocor Antara Tutup Metal Pada Bagian Bawah Isolator.



Gambar 2. 1 Isolator Pasak (www.transnet.co.nz)

2.1.2 Isolator Gantung (*Suspension*)

Isolator Jenis Suspension (Gantung), Pada Isolator Gantung Dikenal Dua Jenis Yakni *Clevis Type* Dan *Ball-And-Socket Type* (Type Bola Dan Lekuk), Yang Masing-Masing Terbuat Dari Bahan Dielektrik Seperti Porselin, Gelas Dan Steatite Dengan Tutup (*Cap*) Dari Besi Ternepaan (*Malleable Iron*) Disatu Pihak Dan Pasak Baja Dilain Pihak, Yang Keduanya Diikatkan Pada Porselennya Dengan Semen Berkualitas Baik Transformator Ini Dipakai Di Tempat-Tempat Dimana Pengotoran Udara Karena Garam Dan Banyak Terjadi. Kedua Jenis Yang Lain Dipakai Pada Saluran-Saluran Transmisi Yang Relatip Rendah (Kurang Dari 22-33 KV).



Gambar 2. 2 Isolator *Clevis Type*

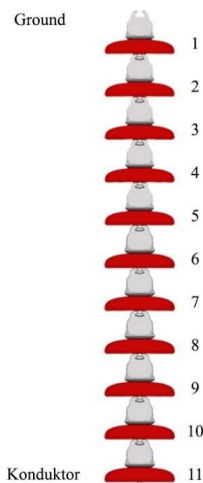
Jenis Clevis Ini Memiliki Bentuk Tutup (*Cap*) Dan Pasaknya (*Pin*) Berbentuk Pipih Dengan Lubang Ditengahnya, Yang Digunakan Untuk Keperluan Penggandengan Dari Beberapa Isolator Gantung Dengan Mengikatnya Dengan Mur Baut Sehingga Bisa Lebih Kuat Penggandengannya.



Gambar 2. 3 Isolator *Ball And Socket Type*

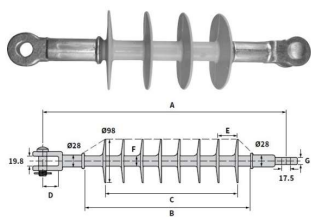
Jenis Ball And Socket Memiliki Bentuk Tutup (*Cap*) Berlubang (*Socket*) Untuk Menyangkutkan Pasak (*Pin*) Yang Berbentuk Bulat (*Ball*), Sehingga Pengandengan Dari Beberapa Isolator Gantung Tidak Menggunakan Baut (*Bolt*) Lagi. Kedua Jenis Ini Paling Banyak Dipakai Adalah Jenis Clevis, Karena Dibandingkan Jenis Ball And Socket Maka Jenis Clevis Ini Lebih Kokoh Dan Kuat Serta Tidak Ada Kemungkinan Lepas. Isolator Gantung Mempunyai Kualitas Tegangan Isolasi Tidak Begitu Tinggi Dibandingkan

Isolator Jenis Pasak, Karena Isolator Gantung Hanya Memiliki Satu Piringan Untuk Setiap Unit Isolator. Oleh Sebab Itu Agar Memenuhi Kebutuhannya Maka Isolator Gantung Ini Digandengkan Satu Unit Dengan Unit Yang Lainnya Agar Mendapatkan Kualitas Tegangan Isolasi Yang Tinggi. Dila Gandengan Isolator Gandengan Mempunyai Kualitas Yang Lebih Tinggi Dari Isolator Jenis Pasak. Makin Banyak Gandengannya Maka Makin Tinggi Kualitas Tegangan Isolasinya.



Gambar 2. 4 Urutan Isolator Gantung

Isolator Komposit Kertas Digunakan Untuk Isolator Hantaran Udara Jenis Post, Martrel Peralatan Uji Tegangan Tinggi Dan Bushing. Isolator Komposit Ini Dibuat Dari Bahan Kertas Yang Dikeringkan Melalui Pemanasan. Pada Temperatur Tinggi, Kertas Dilapisi Dengan Pemis, Kemudian Digulung Membentuk Tabung. Selanjutnya, Tabung Tersebut Diarvetkan Melalui Proses Pemanasan Sehingga Tabung Menjadi Kokoh, Permukaan Berkilat, Dan Tidak Menjadi Lembut Jika Mengalami Pemanasan Ulang. Akhirnya Permukaan Isolator Kertas Dipernis Lagi. Isolator Kertas Yang Diproses Seperti Ini Menghasilkan Isolator Yang Kekuatan Elektrik Dan Kekuatan Mekanik Yang Cukup Tinggi.



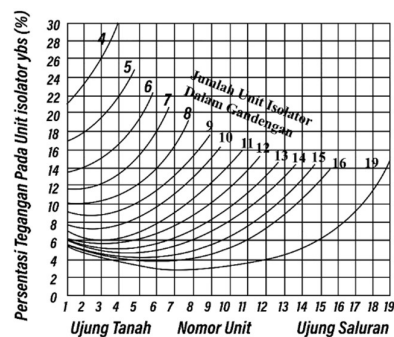
Gambar 2. 5 Isolator Komposit
(www.transnet.co.nz)

2.2 Karakteristik Isolator

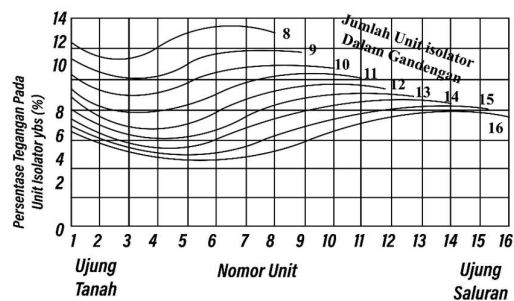
2.2.1 Karakteristik Isolator

Tegangan Lompatan Api Implus Adalah Tegangan Lompatan Api Yang Terjadi Bila Tegangan Implus Dengan Gelombang Standar Diterapkan. Menurut Internasional Electrotechnical Commission Gelombang Tegangan Implus Adalah 1,2 X 50 Us. Karakteristik Implus Terbagi Atas

Polaritas Positif Dan Polaritas Negatif. Biasanya Tegangan Dengan Polaritas Positif (Yang Memberikan Nilai Lompatan Api Yang Rendah) Yang Dipakai, Dan Tegangan Lompatan Api Yang Rendah Menunjukkan Kekuatan Dielektrik Dari Isolator, Dan Terjadi Bila Tegangan Frekuensi Rendah Diterapkan Antara Kedua Elektroda Isolator Yang Dichelup Dalam Minyak Sampai Isolator Tembus. Untuk Isolator Dalam Keadaan Baik Tegangan Tembus Ini Lebih Tinggi Dari Tegangan Lompatan Api Frekuensi Rendah, Dan Nilainya Kira-Kira 140 KV Untuk Isolator Gantung Dengan Diameter 250 Mm.



Gambar 2. 6 Distribusi Pada Gandengan Isolator (Tanpa Tanduk Busur Api) [7]



Gambar 2. 7 Distribusi Tegangan Pada Gandengan Isolator (Dengan Tanduk Busur Api) [7]

2.2.2 Karakteristik Mekanis

Isolator harus memiliki kekuatan mekanis guna memikul beban mekanis penghantar yang diisolasinya. Porselen sebagai bagian utama sebuah isolator, mempunyai sifat sebagai besi cor, dengan kuat tekanan (*compressive strenght*) yang besar dan kuat tarik (*tensile strenght*) yang lebih kecil. Kuat tariknya 400-900 kg/cm², sedang kuat tekanannya 10 kali lebih besar. Porselen harus bebas dari lubang-lubang (*blowholes*), goresan-goresan, keretakan-keretakan dan sebagainya, serta mempunyai ketahanan terhadap perubahan suhu yang mendadak dan tumbukan-tumbukan dari luar. Gaya tarik terhadap isolator yang telah dipasang relatif besar, sehingga kekuatan porselen dan bagian-bagian yang disemenkan padanya harus dibuat lebih besar dari kekuatan bagian-bagian logamnya seperti terlihat pada gambar 2.8. Kekuatan mekanis isolator gantung harus diuji untuk mengetahui kemampuan mekanis dan keseragamannya. Karakteristik lompatan api isolator gantung seperti pada tabel 2.8.

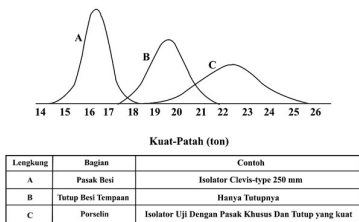
Impulse Air Gap		Impulse Flashover, Positive Critical (kV)	No. of Insulator Units ^a	Wet 60-Hz Flashover (kV)	Wet 60-Hz Air Gap	
in.	mm				mm	in.
8	203	150	1	50	254	10
14	356	255	2	90	305	12
21	533	355	3	130	406	16
26	660	440	4	170	508	20
32	813	525	5	215	660	26
38	965	610	6	255	762	30
43	1092	695	7	295	889	35
49	1245	780	8	335	991	39
55	1397	860	9	375	1118	44
60	1524	945	10	415	1245	49
66	1676	1025	11	455	1346	53
71	1803	1105	12	490	1473	58
77	1956	1185	13	525	1575	62
82	2083	1265	14	565	1676	66
88	2235	1345	15	600	1778	70
93	2362	1425	16	630	1880	74
99	2515	1505	17	660	1981	78
104	2642	1585	18	690	2083	82
110	2794	1665	19	720	2184	86
115	2921	1745	20	750	2286	90
121	3073	1825	21	780	2388	94
126	3200	1905	22	810	2464	97
132	3353	1985	23	840	2565	101
137	3480	2065	24	870	2692	106
143	3632	2145	25	900	2794	110
148	3759	2225	26	930	2921	115
154	3912	2305	27	960	3023	119
159	4039	2385	28	990	3124	123
165	4191	2465	29	1020	3251	128
171	4343	2550	30	1050	3353	132

Source: Transmission Line Design Manual, U.S. Department of the Interior, Denver, Colorado, 1980.

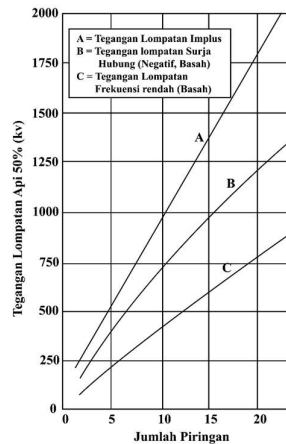
^a Insulator units are 146x254 mm (5 3/4 x 10 in) or 146x267 mm (5 3/4 x 10 1/2 in).

Tabel 2. 1 Karakteristik Flashover Dari Kekuatan Isolator Suspension Dan Celah-Celah Udara [8]

Dalam Perencanaan Isolasi Saluran Transmisi Udara, Tegangan Lebih Merupakan Faktor Penting. Ditempat-Tempat Dimana Pengotoran Udara Tidak Menghawatirkan, Surja Hubung (*Switching Surge*) merupakan Faktor Penting Dalam Penentuan Jumlah Isolator Dan Jarak Isolasi. Karakteristik Lompatan Api Untuk Isolator Gantung Seperti Terlihat Pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 8 Diagram Distribusi Kekuatan Mekanis Pada Isolator Gantung 250 mm. [7]

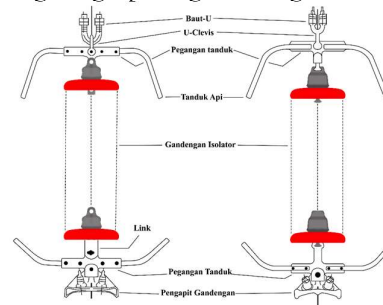


Gambar 2. 9 Karakteristik Lompatan Api Isolator Gantung 250 mm. [7]

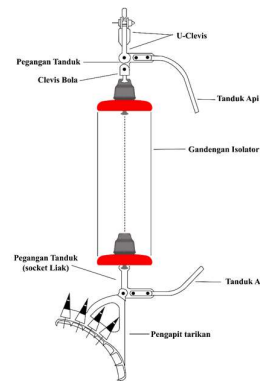
2.3 Pasangan Isolator

2.3.1 Pasangan Isolator Gantung

Pasangan Isolator Gantung (*Suspension*) Terbuat Dari Besi Atau Baja Tempaan (*Malleable*) Yang Ukurannya Disesuaikan Dengan Tegangan, Jenis Dan Ukuran Penghantar, Kekuatan Mekanisnya, Serta Kontruksi Penopangnya (*Supporting Structure*). Dengan Demikian Maka Dikenal Baut-U, *Kleves (Clevis), Link, Ball And Socket* (Bola Dan Lekuk) Dsb, Yang Mudah Dihubung-Hubungkan, Dan Mudah Dipertukar Seperti Pada Gambar 2.10 Sedangkan Gandengan Isolator Tarik Tunggal Seperti Pada Gambar 2.11 Masing-Masing Lengkap Dengan Pasangan Isolatornya.



Gambar 2. 10 Gandengan Isolator Gantung Tunggal.



Gambar 2. 11 Gandengan Isolator Tarik Tunggal

III Metode Penelitian

3.1 Lokasi Penelitian

Pengambilan Data Dalam Penelitian Tugas Akhir Ini Dilakukan Di PT. PLN (Persero) Area Pontianak. Adapun Yang Menjadi Topik Penelitian Ini Berfokus Pada Nilai Kapasitansi Yang Berpengaruh Terhadap Distribusi Tegangan Pada Isolator String Pada Saluran Transmisi Siantan (Pontianak) – Tayan (Sanggau).

3.2 Metode Pengumpulan Data

Metode Pengumpulan Data Dalam Suatu Penelitian Akan Menentukan Keberhasilan Penelitian, Oleh Karena Itu Perlu Direncanakan Dengan Tepat Dalam Memilih Metode Untuk Pengumpulan Data. Sedangkan Metode-Metode Tersebut Adalah Sebagai Berikut :

1. Metode Dokumentasi

Yang Dimaksud Metode Dokumentasi Adalah Cara Memperoleh Data Melalui Hal-Hal Atau Variabel Yang Berupa Catatan, Transkrip, Buku, Jurnal Dan Lain-Lain. Adapun Dokumentasi Yang Akan Peneliti Gunakan Adalah

Data-Data Yang Berhubungan Dengan Tegangan Pada Isolator String.

2. Metode Simulasi

Pengumpulan Data Dengan Melakukan Pemodelan Simulasi Terhadap Peralatan Sesungguhnya. Dalam Hal Ini Penulis Memodelkan Perhitungan Dengan Bantuan Media Komputer Sehingga Didapatkan Hal-Hal Yang Perlu Dicatat Sebagai Data Dalam Penelitian.

3.3 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-Langkah Penelitian Yang Ditempuh Dalam Penelitian Ini Adalah Sebagai Berikut :

1. Tahap Persiapan

Tujuan Dari Tahap Persiapan Ini Adalah Untuk Mempersiapkan Semua Peralatan Dan Bahan Yang Akan Dibutuhkan Untuk Mendukung Kelancaran Penelitian Ini.

2. Tahap Pemodelan

Tujuan Dari Tahap Ini Untuk Memodelkan Peralatan Nyata. Sehingga Dapat Diteliti Model Simulasi Yang Digunakan Untuk Melakukan Pengambilan Data Untuk Penelitian Dimana Model Perhitungan Dibuat Dalam Tiga Kapasitansi.

- a. Dengan Mengabaikan Nilai Kapasitansi Ce dan Ch.
- b. Dengan memperhitungkan Nilai Kapasitansi Ce
- c. Dengan memperhitungkan nilai kapasitansi C, Ce dan Ch.

3. Tahap Pengambilan data

Tujuan dari tahap ini untuk memperoleh data penelitian yang meliputi hubungan kapasitansi terhadap distribusi tegangan pada isolator string.

3.4 Analisa Data

Analisa Data Merupakan Baguian Penting Dalam Penelitian, Karena Dengan Analisa Data Yang Diperoleh Mampu Memberikan Arti Dan Makna Untuk Memecahkan Masalah Dan Mengambil Kesimpulan Penelitian. Dalam Penelitian Ini Teknik Analisis Data Yang Digunakan Adalah Analisis Matematis Yang Dimodelkan Dalam Sebuah Simulasi Perhitungan. Analisa Ini Adalah Mengadakan Perhitungan-Perhitungan Berdasarkan Rumus Yang Berlaku Di Dalam Perhitungan Distribusi Tegangan Pada Isolator Rantai Untuk Mendapatkan Hubungan Antara Kapasitansi Dengan Distribusi Tegangan Pada String Isolator. Parameter Penentu Kinerja Isolator Adalah Effisiensi Isolator Yang Di Rumuskan Sebagai Berikut :

$$\mu = \frac{\text{Tegangan yang dipikul isolator}}{N \times \text{Tegangan Unit Isolator Terdekat ke kawat Fasa}} \dots\dots(3.1)$$

3.5 Peralatan Yang Digunakan

Penelitian Mengenai Perhitungan Distribusi Tegangan Pada Isolator String Ini Dilakukan Menggunakan Metode Pendekatan Diffrensial, Peralatan-Peralatan Yang Digunakan Pada Penelitian Ini Adalah Sebagai Berikut :

- 1. Leptop
- 2. Kalkulator
- 3. Matlab R2015a
- 4. GNU Octave (GUI) 5.2.0
- 5. Microsoft Office World 2019
- 6. Microsoft Office Excel 2019
- 7. Adobe Photoshop 2020

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur Pengujian dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1. Melakukan Persiapan peralatan Dan Bahan.
- 2. Melakukan Perhitungan Isolator string dengan mengabaikan nilai kapasitansi Ce dan Ch.
- 3. Melakukan Perhitungan Isolator string dengan mengabaikan nilai kapasitansi Ch.
- 4. Dengan Memperhitungkan Semua kapasitansi C, Ce dan Ch.
- 5. Dengan Memperhitungkan nilai kapasitansi Ce < Ch.
- 6. Dengan Memperhitungkan nilai kapasitansi Ce > Ch.
- 7. Dengan Memperhitungkan nilai kapasitansi Ce = Ch > 0.
- 8. Melakukan Perhitungan Dengan Menggunakan Metode Diffrensial.

IV Distribusi Tegangan Pada Isolator

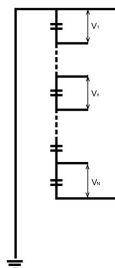
4.1 Distribusi Tegangan Dengan Mengabaikan Ce Dan Ch

Oleh Karena Kapasitansi Antara Penghubung Rentengan Isolator Dengan Menara/Tanah (Ce) Dan Kapasitansi Elektroda Dengan Jala-Jala (Ch) Diabaikan, Maka Hal Ini Akan Sama Keadaannya Kalau Isolator Tersebut Dikenakan Tegangan Searah. Pada Tegangan Searah, Tegangan Sepanjang Rentengan Isolator Didistribusikan Secara Merata. Pada Rentengan Isolator Tersebut Mengalir Arus Bocor Dan Tegangan Pada Satu Elemen Dari Rentengan Isolator Adalah, Arus Bocor Pada Isolator Tersebut Dikalikan Dengan Tahanan Tiap Isolator. Rangkaian Pengganti Dari Rentengan Isolator Ini Terlihat Seperti Pada Gambar 4.1.

Jika Elemen Dari Rentengan Isolator Tersebut Sama, Maka Distribusi Tegangan Pada Setiap Isolator Adalah Sama.

$$U_1 = U_2 = U_n = U_N$$

$$U_n = \frac{U}{N} \dots\dots\dots(4.1)$$



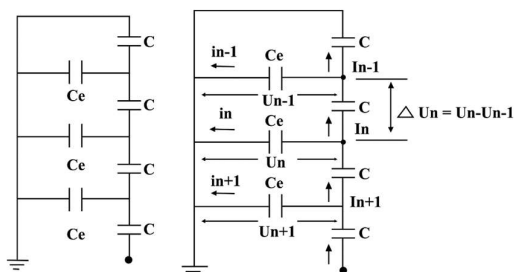
Gambar 4. 1 Rangkaian Pengganti Rentengan Isolator Dengan Mengabaikan Ce dan Ch

Dimana :
 Un = Tegangan pada elemen ke n dari rentengan isolator yang ditinjau
 U = Tegangan total yang dikenakan pada rentengan isolator
 N = Jumlah elemen isolator pada suatu rentengan isolator

4.2 Distribusi Tegangan Dengan Memperhitungkan Ce

Dalam Keadaan Isolator Dibebeani Tegangan, Akan Timbul Medan Listrik Diantara Penghubung Isolator Dengan Penghubung Isolator Yang Lain, Antara Penghubung Isolator Dengan Tanah (Menara) Dan Antara Penghubung Isolator Dengan Kawat Penghantar Yang Digantungkan Pada

Rentengan Isolator Tersebut. Medan Listrik Yang Terjadi Tersebut Dapat Dianalogikan Dengan Kapasitansi-Kapasitansi. Dibandingkan Dengan Besarnya Kapasitansi Sendiri Dari Elemen Rentengan Isolator (C), Besarnya Ce Ini Jauh Lebih Kecil, Tapi Pada Kenyataannya Tidak Dapat Diabaikan Karena Mempengaruhi Distribusi Tegangan Pada Rentengan Isolator Yang Dipakai. Rangkaian Pengganti Dengan Memperhitungkan Ce Saja Seperti Pada Gambar 4.2. Untuk Menentukan Distribusi Tegangan Secara Matematis Pada Gambar 4.2. Arus Yang Mengalir Tiap Isolator (Arus Bocor) Adalah I, Dan Arus Bocor Mengalir Antara Elektroda Dengan Menara Adalah I, Dan Tegangan U Antara Jala-Jala Ke Tanah Pada Rentengan Isolator.



Gambar 4. 2 Rangkaian Pengganti Dari Rentengan Isolator Dengan Memperhitungkan Ce Saja

Dimana :

C = Kapasitansi antara elektroda dengan elektroda (kapasitansi sendiri dari elemen isolator)

Ce = Kapasitansi antara elektroda dengan tanah (menara)

in = arus bocor pada kapasitansi Ce dielemen yang ke n

In = arus bocor pada kapasitansi C dielemen yang ke n

Un = Tegangan isolator yang ke n terhadap tanah

Bila isolator N = 1 dihubungkan langsung pada menara yang ditanahkan, maka untuk isolator yang ke n persamaan arus kapasitif didapat, antara elektroda dengan tanah :

$$i_n = C_e \frac{d}{dt} U_n \dots \dots \dots (4.2)$$

dan untuk kedua elemen yang berdekatan :

$$I_n = C \frac{d}{dt} (U_n - U_{n-1})$$

$$I_{n+1} = C \frac{d}{dt} (U_{n+1} - U_n) \dots \dots \dots (4.3)$$

$$\Delta U_n = (U_n - U_{n-1})$$

$$I_n = I_{n+1} - I_n \dots \dots \dots (4.4)$$

$$\frac{C_e}{C} U_n = \Delta^2 U_n \dots \dots \dots (4.5)$$

Dimana :

$$U_n = U_{n+1} - U_n$$

$$U_{n-1} = U_n + U_{n-1}$$

$$U_n = A e^{\alpha n} \dots \dots \dots (4.6)$$

$$U_{n-1} = A e^{\alpha(n-1)} = A e^{-\alpha} e^{\alpha n} \dots \dots \dots (4.7)$$

$$\frac{C_e}{C} = \left(\sinh \frac{\alpha}{2} \right)^2 \dots \dots \dots (4.8)$$

$$\sinh \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C_e}{C}} \dots \dots \dots (4.9)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_e}{C}} \dots \dots \dots (4.10)$$

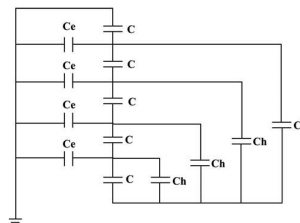
karena harga-harga positif dan negatif dari memenuhi persamaan (4.8), penyelesaian secara coba-coba yang lengkap dari (4.6) harus di buat sedemikian :

$$U_n = A e^{\alpha n} + B e^{-\alpha n} \dots \dots \dots (4.11)$$

4.3 Distribusi Tegangan Dengan Memperhitungkan Ce Dan Ch

Dalam keadaan isolator dibebani dengan tegangan maka akan timbul medan listrik diantara elektroda penghubung isolator dengan elektroda penghubung isolator lain, antara elektroda dengan tanah (menara) dan antara elektroda kawat penghantar (jala-jala) yang digantung pada isolator rantai tersebut.

Medan listrik yang terjadi tersebut dapat disamakan dengan kapasitansi yaitu, kapasitansi antara elektroda dengan elektroda yaitu (C), kapasitansi elektroda dengan menara (Ce) dan kapasitansi antara elektroda dengan penghantar (Ch). Rangkaian pengganti dari rentengan isolator tersebut dapat digambarkan seperti pada gambar 4.6



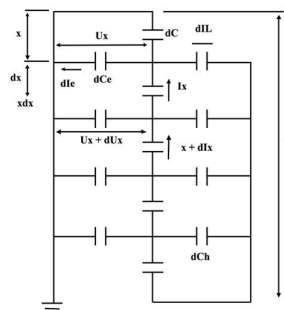
Gambar 4. 3 Rangkaian Pengganti Dari Rentengan Isolator Dengan Pengaruh Ce Dan Ch [3]

Dimana :

C = kapasitansi antara elektroda dengan elektroda (kapasitansi sendiri dari elemen isolator)

Ce = kapasitansi antara elektroda dengan tanah (menara)

Ch = kapasitansi antara elektroda dengan jala-jala



Gambar 4. 4 Aliran Arus Bocor Pada Rangkaian Pengganti Dari Rentengan Isolator Dengan Pengaruh Ce Dan Ch.[3]

Dimana :

L = Panjang rentengan isolator

dIe = Arus bocor pada kapasitansi Ce di elemen yang ke n

Ix = Arus bocor pada kapasitansi C di elemen yang ke n

dIL = Arus bocor pada kapasitansi Ch di elemen yang ke n

C = kapasitansi antara elektroda dengan elektroda

(kapasitansi sendiri dari elemen isolator)

Ce = kapasitansi antara elektroda dengan tanah (menara)

Ch = kapasitansi antara elektroda dengan jala-jala

x = panjang elemen isolator

$$dC = C \frac{dx}{L}$$

$$dC_e = C_e \frac{dx}{L}$$

$$dC_h = C_h \frac{dx}{L}$$

Dimana :

L = Panjang isolator rantai. Tegangan pada satu element kapasitansi adalah sebgai berikut:

$$dU_x = \frac{ix+di_x}{j\omega CL} dx \dots\dots\dots(4.20)$$

$$di_x \ll i_x, \text{ jadi } di_x = 0$$

$$-di = di_e + di_L$$

$$di_e = U_x j\omega C_e \frac{dx}{L}$$

$$di_L = (U - U_x) j\omega C_h \frac{dx}{L} \dots\dots\dots(4.21)$$

differential dU_x terhadap x

$$\frac{d^2 U_x}{dx^2} = \frac{1}{j\omega CL} \cdot \frac{di_x}{dx} = \frac{1}{j\omega CL} \left(\frac{di_e - di_L}{dx} \right) \dots\dots\dots(4.22)$$

Substitusikan persamaan (4.20) kedalam persamaan (4.21), maka akan didapat :

$$\frac{d^2 U_x}{dx^2} = \frac{U_x}{L^2} \left(\frac{C_e + C_h}{C} \right) = \frac{U}{L^2} \frac{C_h}{C}$$

Misalkan :

$$a = \frac{x}{L}$$

$$U_a = \frac{U_x}{U}$$

$$K = \sqrt{\frac{C_e + C_h}{C}}$$

Maka :

$$U_a = \frac{1}{C_e + C_h} \left[C_e \frac{\sinh K.a}{\sinh K} + C_h \left(1 - \frac{\sinh(K-a)}{\sinh K} \right) \right]$$

$$U_x = \frac{U}{C_e + C_h} \left[C_e \frac{\sinh K.a}{\sinh K} + C_h \left(1 - \frac{\sinh(K-a)}{\sinh K} \right) \right] \dots\dots\dots(4.23)$$

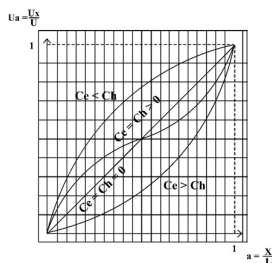
Syarat batas :

Pada :

$$a = 0 \quad U_a = 0 \quad \text{atau} \quad U_x = 0$$

$$a = 1 \quad U_a = 1 \quad \text{atau} \quad U_x = U$$

karakteristik U_a terhadap a dengan harga-harga C_e dan C_h yang berubah-ubah dapat dibuat secara pendekatan seperti pada gambar 4.8 terlihat bahwa untuk harga-harga C_e dan C_h yang lebih kecil, maka distribusi tegangan pada rentengan isolator mendekati uniform. Demikian pula $C_e = C_h = 0$ distribusi tegangan sepanjang rentengan isolator adalah merata.



Gambar 4. 5 Kurva Perbandingan U_x/U Dari Suatu Rentengan Isolator Untuk Harga-Harga C_e Dan C_h Yang Berbeda. [2]

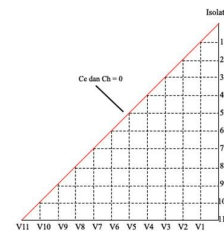
V Distribusi Tegangan Yang Berpengaruh Terhadap String Isolator

5.1 Distribusi Tegangan Dengan Mengabaikan Kapasitansi C_e Dan C_h

Jika kapasitansi antara penghubung isolator rantai dengan menara C_e dan kapasitansi antara penghubung isolator rantai dengan konduktor tegangan tinggi C_h diabaikan, maka rangkaian Ekvivalen Kapasitansi Isolator String ini terlihat seperti pada Gambar 4.1. dari analisa komputer untuk distribusi tegangan dengan mengabaikan C_e dan C_h pada tegangan 150 KV dengan asumsi nilai $C = 50$ pf -70 pf, $F = 50$ Hz, dan daya tahan nominal isolator untuk tegangan 150 Kv adalah 13,6 KV per elemen diperoleh hasil seperti Tabel 5.1, z

HASIL ANALISA KOMPUTER KEADAAN SETIAP ISOLATOR DENGAN MENGABAIKAN KAPASITANSI C_e DAN C_h				
C = 50 pF		V = 150 KV		F = 50 Hz
Jumlah Isolator (Rentengan)	Tegangan Penghantar (KV)	Tegangan Per Isolator (KV)	Arus Bocor Isolator C (Amp)	Effisiensi (%)
1	13.636	13.636	123.668	100
2	27.273	13.636	123.668	100
3	40.909	13.636	123.668	100
4	54.545	13.636	123.668	100
5	68.182	13.636	123.668	100
6	81.818	13.636	123.668	100
7	95.455	13.636	123.668	100
8	109.091	13.636	123.668	100
9	122.727	13.636	123.668	100
10	136.364	13.636	123.668	100
11	150	13.636	123.668	100

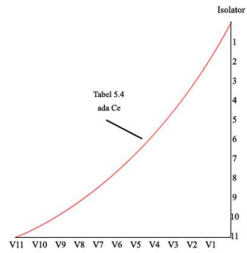
Tabel 5. 1 Distribusi Tegangan Dengan Mengabaikan C_e dan C_h Untuk $C = 50$ pF



Gambar 5. 1 Kurva Distribusi Tegangan Dengan Mengabaikan Kapasitansi C_e Dan C_h

5.2 Distribusi Tegangan Dengan Memperhitungkan Kapasitansi C_e

pada tabel 5.4 terlihat besar tegangan yang terdekak pada tower atau ground sebesar 3.83793 KV akibat nilai kapasitansi C_h diabaikan maka besar arus bocor pada kapasitansi C sebesar 60.286 Amp dan besar arus bocor pada kapasitansi C_e sebesar 4.82288 Amp, Jika nilai kapasitansi C_e bertambah maka effisiensi dari rentengan isolator yang mendekati konduktor tegangan Tinggi 36.7 % ke 33.5 % mengalami penurunan Terlihat pada tabel 5.4 dan Tabel 5.5 penambahan nilai kapasitansi sebesar 1 pF saja bisa mempengaruhi nilai effisiensi dari rentengan isolator, Untuk meningkatkan nilai effisiensi dari rentengan isolator perlu penambahan nilai kapasitansi dari elemen isolator C sehingga nilai effisiensi dari rentengan isolator akan meningkat.



Gambar 5. 2 Distribusi Tegangan Pengaruh Kapasitansi Ce 4 pF Terhadap C 50 pF

HASIL ANALISA KOMPUTER KEADAAN SETIAP ISOLATOR DENGAN MEMPERHITUNGKAN Ce					
C = 50 pF Ce = 4 pF V = 150 KV F = 50 Hz					
Jumlh Isolator (Rentengan)	Tegangan Pada Isolator (KV)	Un/V	Arus Bocor Pada C (Amp)	Arus Bocor Pada Ce (Amp)	Effisiensi (%)
1	3.83793	0.026	60.286	4.82288	100
2	7.98494	0.053	65.1411	5.21129	96.3
3	12.775	0.085	75.2424	6.01939	88.9
4	18.5939	0.12	91.4033	7.31226	97.9
5	25.9103	0.17	114.925	9.19402	70.8
6	35.3134	0.24	147.703	11.8162	62.6
7	47.5604	0.32	192.375	15.39	55.5
8	63.6376	0.42	252.541	20.2033	49.5
9	84.8399	0.57	333.045	26.6436	44.5
10	112.875	0.75	440.371	35.2297	40.3
11	150	1	583.161	46.6529	36.7

Tabel 5. 2 Pengaruh Kapasitansi Ce 4 pF Terhadap C 50 pF

HASIL ANALISA KOMPUTER KEADAAN SETIAP ISOLATOR DENGAN MEMPERHITUNGKAN Ce					
C = 50 pF Ce = 5 pF V = 150 KV F = 50 Hz					
Jumlh Isolator (Rentengan)	Tegangan Pada Isolator (KV)	Un/V	Arus Bocor Pada C (Amp)	Arus Bocor Pada Ce (Amp)	Effisiensi (%)
1	2.97888	0.02	46.7922	4.67922	100
2	6.25814	0.042	51.5105	5.15105	95.4
3	10.1685	0.068	61.423	6.1423	86.7
4	15.1041	0.1	77.5291	7.75291	76.5
5	21.5628	0.14	101.453	10.1453	66.8
6	30.1958	0.2	135.607	13.5607	58.3
7	41.8736	0.28	183.435	18.3435	51.2
8	57.7739	0.39	249.76	24.976	45.4
9	79.4998	0.53	341.27	34.127	40.7
10	109.242	0.73	467.192	46.7192	36.7
11	150	1	640.224	64.0224	33.5

Tabel 5. 3 Pengaruh Kapasitansi Ce 5 pF Terhadap C 50 pF

5.3 Distribusi Tegangan Dengan Memperhitungkan Kapasitansi Ce Dan Ch

Adanya kapasitansi Ce dan kapasitansi Ch akan berpengaruh terhadap Distribusi tegangan Pada Sambungan Isolator, Dimana arus bocor akan mengalir ke arah struktur menara dan ke arah sambungan isolator yang berasal dari konduktor tegangan tinggi, dengan demikian arus yang mengalir di masing-masing elemen isolator tidak sama besar, maka tegangan tiap-tiap elemen isolator tidak sama. Pada perhitungan distribusi tegangan dengan memperhitungkan

semua kapasitansi C, Ce dan Ch pada setiap elemen dari rentengan isolator tidak merata, tetapi perbedaan tegangan per isolator tidak terlalu besar.

5.3.1 Distribusi Tegangan Untuk Ce > Ch

HASIL ANALISA KOMPUTER KEADAAN SETIAP ISOLATOR DENGAN MEMPERHITUNGKAN C, Ce dan Ch			
C = 50 pF Ce = 4 pF Ch = 0.5 pF V = 150 KV F = 50 Hz			
Urutan Rentengan Isolator	Tegangan Isolator (KV)	Un/U	a
1	13.4971	0.09	0.0909
2	26.9918	0.18	0.182
3	40.4943	0.27	0.273
4	54.0144	0.36	0.364
5	67.5623	0.45	0.455
6	81.1481	0.541	0.545
7	94.7818	0.632	0.636
8	108.474	0.723	0.727
9	122.234	0.815	0.818
10	136.073	0.907	0.909
11	150	1	1

Tabel 5. 4 Pengaruh Kapasitansi Ch 0,5 pF terhadap C 50 pF dan Ce 4 pF

5.3.2 Distribusi Tegangan Untuk Ce < Ch

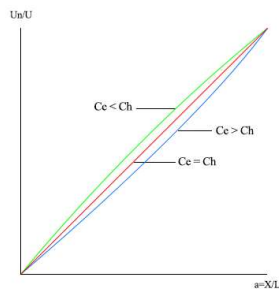
HASIL ANALISA KOMPUTER KEADAAN SETIAP ISOLATOR DENGAN MEMPERHITUNGKAN C, Ce dan Ch			
C = 50 pF Ce = 0.5 pF Ch = 4 pF V = 150 KV F = 50 Hz			
Urutan Rentengan Isolator	Tegangan Isolator (KV)	Un/U	a
1	13.9275	0.0928	0.0909
2	27.7662	0.185	0.182
3	41.5263	0.277	0.273
4	55.2182	0.368	0.364
5	68.8519	0.459	0.455
6	82.4377	0.55	0.545
7	95.9856	0.64	0.636
8	109.506	0.73	0.727
9	123.008	0.82	0.818
10	136.503	0.91	0.909
11	150	1	1

Tabel 5. 5 Pengaruh Kapasitansi Ce 0.5 pF Terhadap C 50 pF dan Ch 4 pF

5.3.3 Distribusi Tegangan Untuk Ce = Ch

HASIL ANALISA KOMPUTER KEADAAN SETIAP ISOLATOR DENGAN MEMPERHITUNGKAN C, Ce dan Ch			
C = 50 pF Ce = 4 pF Ch = 4 pF V = 150 KV F = 50 Hz			
Urutan Rentengan Isolator	Tegangan Isolator (KV)	Un/U	a
1	13.7712	0.0918	0.0909
2	27.4613	0.183	0.182
3	41.0886	0.274	0.273
4	54.6711	0.364	0.364
5	68.2267	0.455	0.455
6	81.7733	0.545	0.545
7	95.3289	0.636	0.636
8	108.911	0.726	0.727
9	122.539	0.817	0.818
10	136.229	0.908	0.909
11	150	1	1

Tabel 5. 6 Pengaruh Kapasitansi Ce = Ch = 4 pF Terhadap C 50 pF



Gambar 5. 3 Kurva Perbandingan U_n/U terhadap a Untuk $C_e > C_h$, $C_e < C_h$ dan $C_e = C_h$

VI Penutup

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan Yang Diperoleh Dari Perhitungan Distribusi Tegangan Pada Rentengan Isolator Pada Bab-Bab Sebelumnya Dapat Diambil Kesimpulan Sebagai Berikut :

1. Dari Perhitungan Terlihat Bahwa Tegangan Terbesar Isolator Rantai Terdapat Di Isolator Yang Paling Dekat Dengan Konduktor Tegangan Tinggi.
2. Terlihat Bahwa Jika Mengabaikan Nilai Kapasitansi C_e Dan C_h Maka Distribusi Tegangan Pada Isolator Merata Atau Konstan.
3. Efek Dari Perubahan Nilai Kapasitansi C Semakin Tinggi Adalah Arus Bocornya Semakin Tinggi Dan Tegangan Pada Isolator Pun Tinggi.
4. Akibat Penambahan Jumlah Isolator Rantai Adalah Berkurangnya Nilai Effisiensi Dari Rentengan Isolator Rantai.
5. Akibat Perubahan Nilai Kapasitansi C_e Semakin Tinggi Mengakibatkan Tegangan Pada Isolator Semakin Mengecil.

Daftar Pustaka

- [1] Tobing, Bonggas L. 2012. Peralatan Tegangan Tinggi. Edisi Kedua. Jakarta : Erlangga
- [2] Pranoto, Kentrik. 2014. Simulasi perhitungan distribusi tegangan pada isolator tantai. Medan : Universitas sumatra Utara
- [3] Cekdin, Cekmas. 2014. Teori singkat teknik elektro disertai contoh soal dan penyelesaian. Edisi pertama. Yogyakarta : Andi
- [4] Saiful, Asmi. 2011. Penggunaan FEM (*Finite Element Method*) dalam memetakan medan listrik pada permukaan isolator pin dan pos 20 KV dan udara disekitarnya. Semarang : Universitas Diponegoro
- [5] Aryanto, Rizal. Studi Distribusi Tegangan Dan Arus Bocor Pada Isolator Rantai Dengan Pembasahan. Malang : Universitas Brawijaya
- [6] Milan, Jones. 2016. Analisa pengaruh polutan pada isolator kaca terhadap distribusi tegangan isolator rantai. Medan : Universitas sumatra Utara
- [7] Arismundar, Artono. 2004, Buku pegangan teknik tenaga listrik jilid II, Jakarta : Pradnya Pramita
- [8] Turan Gonen. 2013, Secont Editions Modern power System Analysis, Francis : Taylor & Francis Group, LLC
- [9] Cekmas, Cekdin dan Barlian, Taufik. 2013, Transmisi daya Listrik, Yogyakarta : Andi

- [10] Grigesby, Leonard. 2006, Electric Power Generation Transmission and Distribution, U.S : Taylor & Francis Group, LLC

BIOGRAFI



Giovanni Giorgetta, Lahir Di Balai Sepuak, 14 Mei 1995. Menempuh Pendidikan Dasar Di SD Negeri 11 Balai Sepuak Kab. Sekadau Pada Tahun 2005, Melanjutkan Ke SMP Negeri 1 Belitang Hulu Kab. Sekadau Pada Tahun 2011 Dan Melanjutkan Ke SMA Immanuel Sintang Pada Tahun 2014. Memperoleh Gelar Sarjana Dari Program Studi Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak Pada Tahun 2021.

Pembimbing Utama,

Ir. Danial, M.T., IPM
NIP. 196202121992031002