

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Pengujian distribusi tegangan pada isolator karet silikon hanya akan dilakukan pada kondisi isolator yang bersih dan kering, hal tersebut dikarenakan ketika kondisi isolator berpolutan maka akan menyebabkan meningkatnya nilai konduktivitas permukaan isolator dan arus bocor pada permukaan isolator sehingga nilai distribusi tegangan tidak dapat diketahui secara akurat.

Untuk mengukur distribusi tegangan pada tiap tingkatan, pada pengujian akan di gunakan pelat melingkar dengan lebar satu centimeter yang akan menjepit pada tiap perubahan tingkatan jepitan. Penggunaan pelat melingkar adalah untuk mempermudah pengukuran tegangan tembus pada setiap titik pengamatan. Untuk melengkapi penulisan skripsi ini, maka perlu dilakukan pengujian berupa pengukuran arus bocor pada masing-masing tingkatan dari isolator dengan beberapa variasi masukan tegangan.

Dengan melakukan pengujian ini, diharapkan akan diketahui distribusi tegangan dan arus bocor pada isolator karet silikon dan untuk membuktikan teori-teori yang telah dipelajari.

4.2. Pengujian distribusi tegangan pada isolator karet silikon

Pengujian distribusi tegangan dilakukan dilakukan pada kondisi kering menggambarkan saat isolator tersebut berada di lapangan dengan keadaan cerah. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengamati distribusi tegangan pada tiap sirip dari isolator karet silikon. Pengujian distribusi tegangan pada isolator karet silikon akan dilakukan pada kondisi kering dan bersih hal tersebut dikarenakan agar data pengujian yang dihasilkan akurat sesuai dengan spesifikasi dari objek uji. Kehadiran polutan pada permukaan isolator dapat menurunkan resistansi permukaan dari isolator tersebut, sehingga dapat meningkatkan arus bocor pada permukaan isolator. semakin tinggi kehadiran arus bocor maka keakuratan pengujian distribusi tegangan akan semakin berkurang.

4.2.1 Data hasil pengujian distribusi tegangan pada isolator karet silikon

Pengambilan data pengujian distribusi tegangan dilakukan kondisi ruangan laboratorium dengan tekanan sebesar 954 milibar dan suhu udara 23°C. Pengujian dilakukan pada kondisi kering untuk meniru keadaan sebenarnya ketika cuaca cerah. pengujian distribusi tegangan sebaiknya dilakukan pada waktu yang sama agar kondisi ruangan tidak turut mempengaruhi nilai pengujian. Perbedaan temperatur dan tekanan udara di lain hari dapat mempengaruhi nilai tembus listrik pada elektroda selabola.

Pada pengujian ini yang akan diamati adalah nilai tembus listrik pada elektroda selabola terhadap variasi titik pengamatan. Dilakukan pengujian pada titik pengamatan ke-0 sampai dengan titik pengamatan ke-6. Pengujian di titik pengamatan ke-0 diperlukan untuk memperoleh nilai tegangan tembus pada elektroda selabola (U_{sb}) Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk satu titik pengamatan. Data hasil pengujian distribusi tegangan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

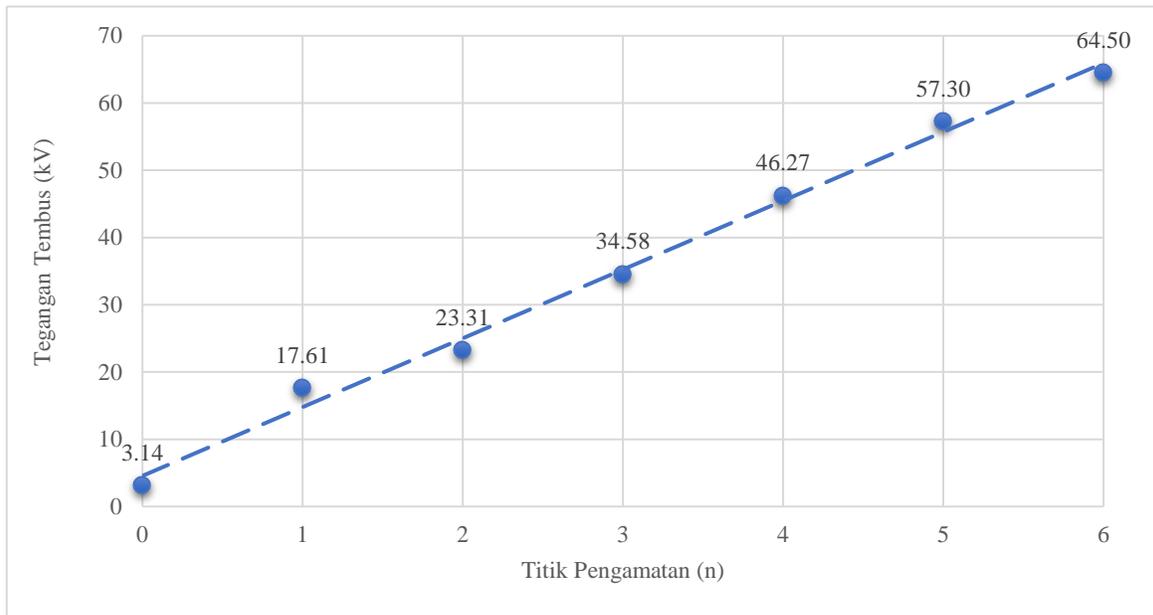
Tabel 4.1.

Tegangan tembus pada kondisi kering

Titik Pengamatan (n)	Tegangan Tembus U_{ac} (kV)			Rata-rata Tegangan $\overline{U_{ac}}$ (kV)
	Data ke-1	Data ke-2	Data ke-3	
0	3.14	3.14	3.15	3.14
1	17.58	17.72	17.52	17.61
2	23.14	23.45	23.35	23.31
3	34.14	34.84	34.76	34.58
4	46.45	46.59	45.76	46.27
5	57.32	57.43	57.15	57.30
6	63.17	64.93	65.39	64.50

Pada Tabel 4.1 dijelaskan bahwa, besar tegangan tembus pada titik pengamatan ke-0 adalah 3.14 kV, untuk titik pengamatan ke-1 nilai tegangan tembusnya sebesar 17.61 kV, untuk titik pengamatan ke-2 nilai tegangan tembusnya sebesar 23.31 kV, untuk titik pengamatan ke-3 nilai tegangan tembusnya sebesar 34.58 kV, untuk titik pengamatan ke-4 nilai tegangan tembusnya sebesar 46.27 kV, untuk titik pengamatan ke-5 nilai tegangan tembusnya sebesar 57.30 kV, untuk titik pengamatan ke-6 nilai tegangan tembusnya sebesar 64.50 kV. Berdasarkan

data pada Tabel 4.1, maka dapat dibuat grafik antara tegangan tembus dan titik pengamatan dari isolator karet silikon.



Gambar 4.1. Grafik hubungan tegangan tembus dan titik pengamatan pada isolator karet silikon

Dari Gambar 4.1 dapat dijelaskan bahwa pada titik pengamatan ke-0 sampai dengan ke-6 nilai tegangan tembus listrik mengalami kenaikan secara linear, hal tersebut dikarenakan semakin besar impedansi pada titik pengamatan yang di ukur maka tegangan yang dibutuhkan untuk mencapai tembus listrik akan semakin besar. Nilai pengujian terbesar terletak pada titik pengamatan ke-6 sebesar 64.5 kV. Dapat diamati dengan nilai U_{sb} sebesar 3.14 kV dibutuhkan nilai tegangan tembus pada titik pengamatan terakhir sebesar 64.5 kV. Semakin besar nilai tegangan U_{sb} maka semakin besar pula nilai tegangan untuk tembus listrik pada titik pengamatan terakhir. Untuk menghindari nilai tegangan uji yang terlalu besar pada titik pengamatan terakhir maka nilai U_{sb} pada awal pengujian tidak boleh terlalu besar agar pembebanan pada peralatan pengujian tidak melebihi kapasitasnya.

4.2.2 Analisis perhitungan

Dari data diatas setelah mengetahui tegangan pada tiap titik pengamatan, langkah selanjutnya menentukan persentase tegangan pada tiap titik pengamatan, yaitu dengan cara membandingkan nilai tegangan pada saat sela bola mengalami tembus.

Perhitungan persentase distribusi tegangan pada isolator karet silikon dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Tegangan tembus sela bola (U_{sb}) = 3.14 kV
- Tegangan tembus titik pengamatan ke-1 (U_1) = 17.61 kV
- Tegangan tembus titik pengamatan ke-2 (U_2) = 23.31 kV
- Tegangan tembus titik pengamatan ke-3 (U_3) = 34.58 kV
- Tegangan tembus titik pengamatan ke-4 (U_4) = 46.27 kV
- Tegangan tembus titik pengamatan ke-5 (U_5) = 57.30 kV
- Tegangan tembus titik pengamatan ke-6 (U_6) = 64.50 kV

Dengan menggunakan persamaan (2-19) nilai persentase pada titik pengamatan 1,

$$\begin{aligned} P1(U_1) &= \frac{(U_1 - U_{sb})}{U_1} \times 100\% \\ &= \frac{17.61 - 3.14}{17.61} \times 100\% \\ &= 82.15\% \end{aligned}$$

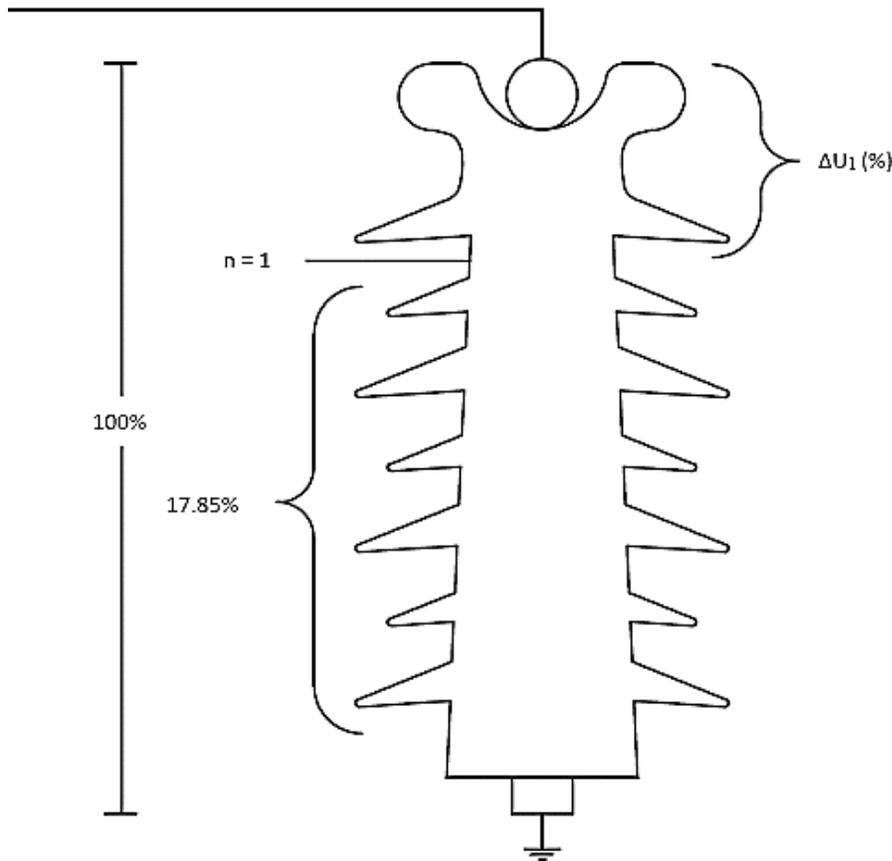
Untuk perhitungan persentase tegangan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.2. Hasil diatas dapat dimasukkan kedalam tabel sebagai berikut agar lebih mudah mengetahui persentase tegangan di setiap titik pengamatan.

Tabel 4.2.
Persentase tegangan untuk kondisi kering

Titik Pengamatan (n)	$\overline{U_{ac}}$ (kV)	$U_i(\%)$
0	3.14	82.15
1	17.61	4.37
2	23.31	4.39
3	34.58	2.30
4	46.27	1.31
5	57.30	0.62
6	64.50	4.87

Dari Tabel 4.2 dapat dijelaskan, persentase tegangan pada titik pengamatan ke-0 sebesar 82.15 %, untuk titik pengamatan ke-1 sebesar 4.37%, untuk titik pengamatan ke-2 sebesar 4.39%, untuk titik pengamatan ke-3 sebesar 2.30%, untuk titik pengamatan ke-4 sebesar 1.31%, untuk titik pengamatan ke-5 sebesar 0.62%, dan untuk titik pengamatan ke-6 sebesar 4.87%.

Dari total pembebanan 100 %, titik pengamatan ke-1 menerima pembebanan sebesar 82.15%. Persentase tegangan pada setiap titik pengamatan 1, dapat diilustrasikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Ilustrasi persentase nilai tegangan pada titik pengamatan 1

Dapat diamati dari Gambar 4.2 terlihat bahwa pembebanan yang timpang pada sirip isolator pertama. Dari 100% pembebanan tegangan, sebesar 17.85% dibebankan pada sirip isolator ke-2 sampai ke-6 dan 82.15% dibebankan pada sirip isolator ke-1. Semakin jauh dari sumber tegangan, pembebanan yang diterima oleh setiap sirip isolator cenderung semakin kecil. Jika tegangan diberikan pada konduktor sebesar 20 kV maka besar tegangan yang dipikul oleh sirip isolator ke-1 adalah

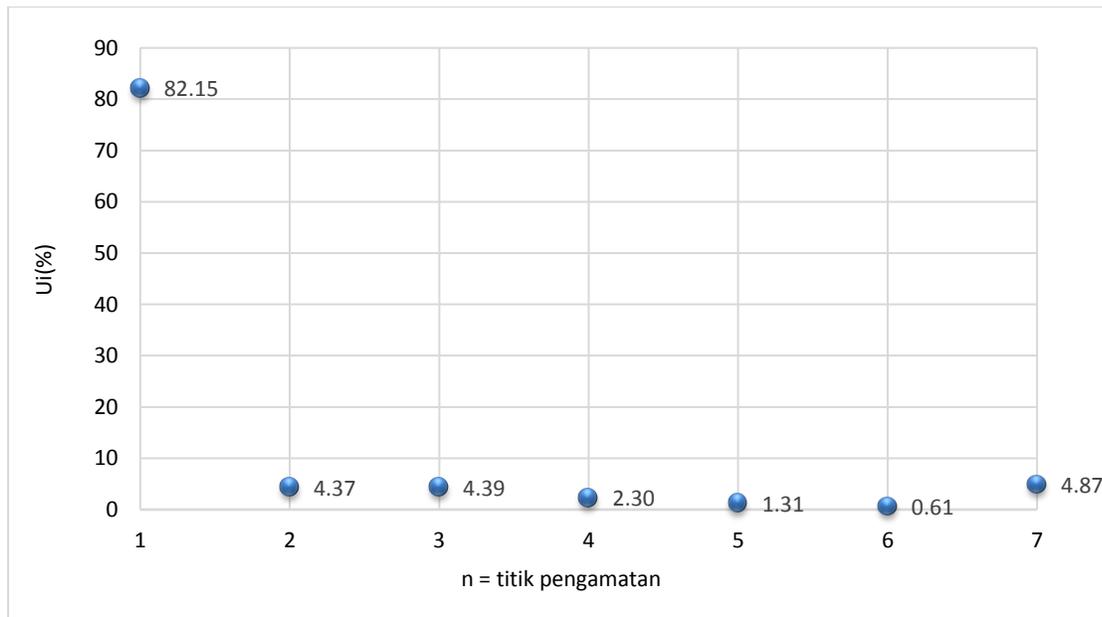
$$\Delta U_1 \text{ (kV)} = 82.15 \% \times 20 = 16.43 \text{ kV}$$

Untuk hasil perhitungan pada tiap sirip isolator selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.3. Dapat diamati dari pembebanan 20 kV, sirip isolator ke-1 dibebani tegangan sebesar 16.43 kV. Sisa tegangan sebesar 3.57 kV dibebankan pada sirip isolator ke-2 sampai ke-7. Terlihat bahwa pembebanan yang tidak merata pada seluruh bagian isolator.

Tabel 4.3
 Persentase distribusi tegangan pada setiap titik pengamatan

Isolator ke - n	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7
ΔU_n (%)	82.15	4.37	4.39	2.30	1.31	0.62	4.87
ΔU_n (kV)	16.43	0.874	0.878	0.46	0.262	0.124	0.974

Hubungan persentase tegangan terhadap tiap-tiap titik pengamatan. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik presentase tegangan pada tiap titik pengamatan

Bedasarkan grafik diatas dapat dijelaskan persentase tegangan tertinggi terdapat pada titik pengamatan 1 sebesar 82.15 %. Dapat diamati bahwa distribusi tegangan pada isolator karet silikon tidak merata. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi desain sehingga dihasilkan distribusi yang lebih merata.

4.5 Pengujian arus bocor pada isolator karet silikon

Pengujian arus bocor pada isolator karet silikon akan dilakukan pada kondisi kering menggambarkan saat isolator tersebut berada di lapangan dengan keadaan cerah. Pada pengujian ini yang akan diamati adalah nilai arus bocor pada setiap titik pengamatan isolator. Pada satu titik pengamatan, variasi tegangan uji yang diberikan ialah 5 kV, 10 kV, 15 kV dan 20 kV. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.4.

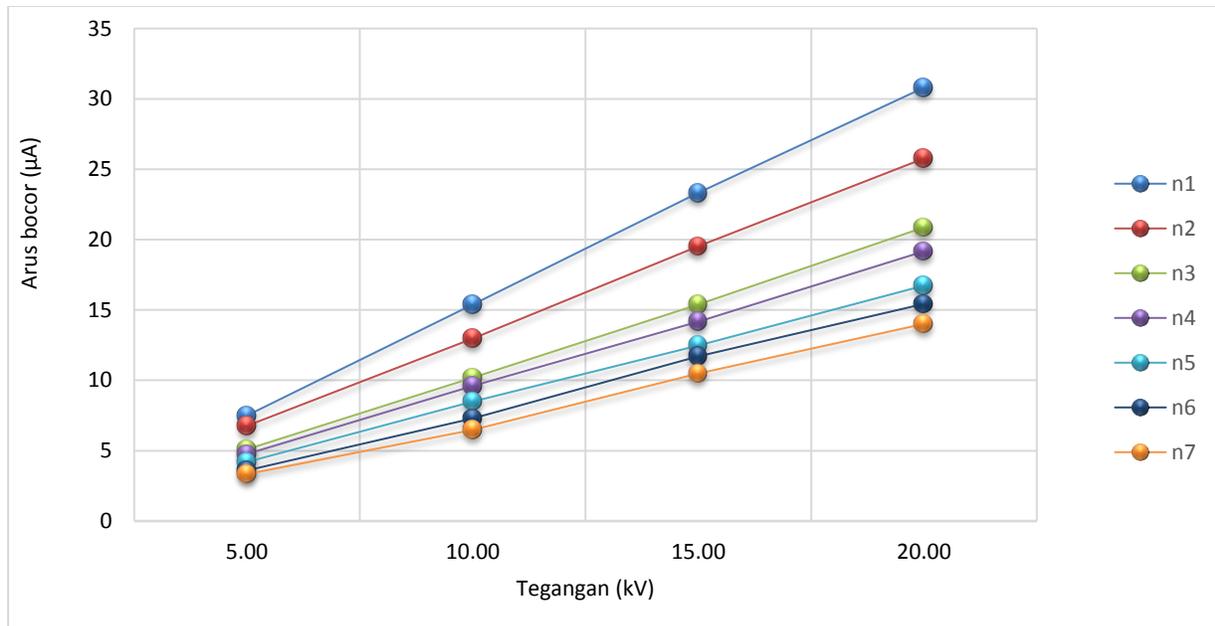
Tabel 4.4
Data Hasil Pengujian Arus Bocor

No	Uac (kV)	I_n (μ A)						
		n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7
1	5.05	7.50	6.77	5.10	4.77	4.20	3.60	3.34
2	10.05	15.40	12.97	10.20	9.60	8.50	7.30	6.20
3	15.03	23.33	19.53	15.40	14.17	12.47	11.70	11.30
4	20.05	30.80	25.77	20.87	19.17	16.73	15.43	14.01

Tabel 4.4 dijelaskan bahwa dengan pembebanan tegangan uji sebesar 5.05 kV nilai arus bocornya pada titik pengamatan ke-1 adalah 7.5 μ A, untuk titik pengamatan ke-2 nilai arus bocornya sebesar 6.77 μ A, untuk titik pengamatan ke-3 nilai arus bocornya sebesar 5.10 μ A, untuk titik pengamatan ke-4 nilai arus bocornya sebesar 4.77 μ A, untuk titik pengamatan ke-5 nilai arus bocornya sebesar 4.20 μ A, untuk titik pengamatan ke-6 nilai arus bocornya sebesar 3.60 μ A, untuk titik pengamatan ke-7 nilai arus bocornya sebesar 3.34. Dapat diamati bahwa pada tegangan sumber tegangan yang tetap semakin besar impedansi pada titik pengamatan yang diukur maka nilai arus bocornya semakin kecil.

Pada Tabel 4.4, jika diamati pada titik pengamatan ke-1, saat pembebanan tegangan uji sebesar 10.05 kV, nilai arus bocor pada isolator sebesar 15.40 μ A, untuk pembebanan tegangan 15.03 kV nilai arus bocornya sebesar 23.33 μ A, untuk pembebanan tegangan uji 20,05 kV nilai arus bocornya sebesar 30,80 μ A. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar tegangan uji yang diberikan maka nilai arus bocornya akan semakin besar pula. hal tersebut terjadi juga pada titik pengamatan lainnya.

Dari Tabel 4.4 dapat diamati pada keadaan kering dan bersih nilai arus bocor terbesar adalah 30,80 μ A, terjadi pada tegangan 20.05 kV di titik pengamatan 1, sedangkan nilai arus bocor terendah adalah 3.34 μ A terjadi pada tegangan 5.05 kV di titik pengamatan 7. Berdasarkan data pada Tabel 4.4, maka dapat dibuat grafik hubungan antara nilai arus bocor terhadap tegangan yang dikenakan pada isolator karet silikon yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan masukan pada setiap titik pengamatan

Dari grafik pada Gambar 4.4 terlihat bahwa perubahan tegangan mempengaruhi nilai arus bocornya. Semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin tinggi pula arus bocornya dan nilai arus bocornya akan semakin rendah jika semakin jauh titik pengamatan dari sumber tegangan.

Dari grafik pada Gambar 4.4. dapat pula diamati kelandaian kurva dari titik pengamatan 1 sampai 7 cenderung semakin landai. Kelandaian kurva tiap titik pengamatan dapat disimbolkan dengan nilai ΔI_n . Perhitungan nilai ΔI_n pada kenaikan kurva 5 kV ke 10 kV di titik pengamatan 1 adalah

$$\begin{aligned}
 \Delta I_1 &= I_1^{10\text{kV}} - I_1^{5\text{kV}} \\
 &= 15.40 - 7.50 \\
 &= 7.90 \mu\text{A}
 \end{aligned}$$

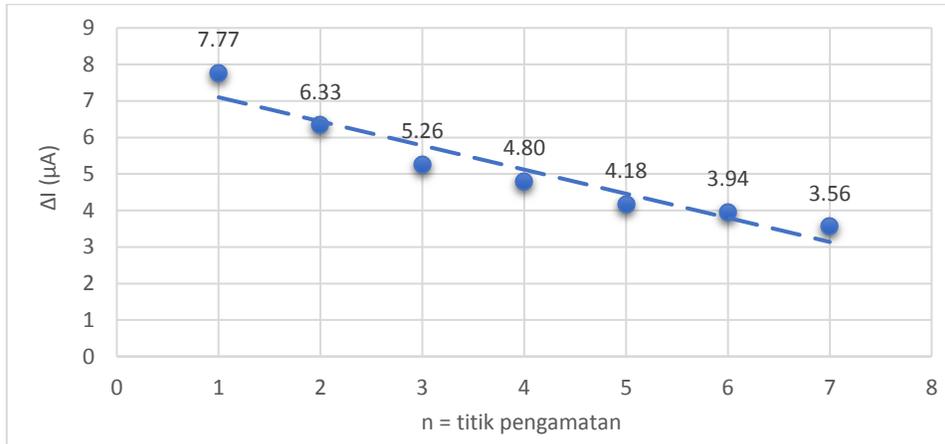
Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5

Kenaikan arus bocor pada tiap titik pengamatan

ΔV (kV)	ΔI_1	ΔI_2	ΔI_3	ΔI_4	ΔI_5	ΔI_6	ΔI_7
5 - 10	7.90	6.20	5.10	4.83	4.30	3.70	3.13
10 - 15	7.93	6.57	5.20	4.57	3.97	4.40	4.01
15 - 20	7.47	6.23	5.47	5.00	4.27	3.73	3.53
Rata- Rata	7.77	6.33	5.26	4.80	4.18	3.94	3.56

Dari Tabel 4.5 dapat diamati nilai rata-rata kenaikan arus bocor dari isolator ke 1 sampai ke 7 mengalami penurunan secara linear, maka kurva arus bocor yang dihasilkan akan semakin landai. Jika nilai rata-rata ΔI_n di bentuk menjadi grafik dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik kenaikan arus bocor pada tiap titik pengamatan.

Dari grafik pada Gambar 4.5 dapat diamati bahwa terjadi penurunan secara linier ΔI_n dari titik pengamatan 1 sampai 7, diperoleh rata-rata penurunan antar titik pengamatan sebesar $0.7 \mu A$. Penurunan tersebut disebabkan oleh kenaikan resistansi dari titik pengamatan 1 sampai dengan titik pengamatan 7 pada tiap titik pengamatan maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar resistansi pada isolator yang diukur maka kenaikan arus bocor akan semakin kecil.

Dengan menggunakan nilai tegangan pada masing- masing isolator yang terdapat pada Tabel 4.3 dan nilai arus bocor di tegangan 20 kV pada Tabel 4.4 maka nilai impedansi permukaan pada masing – masing titik pengamatan dapat dihitung menggunakan persamaan 2-23. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6

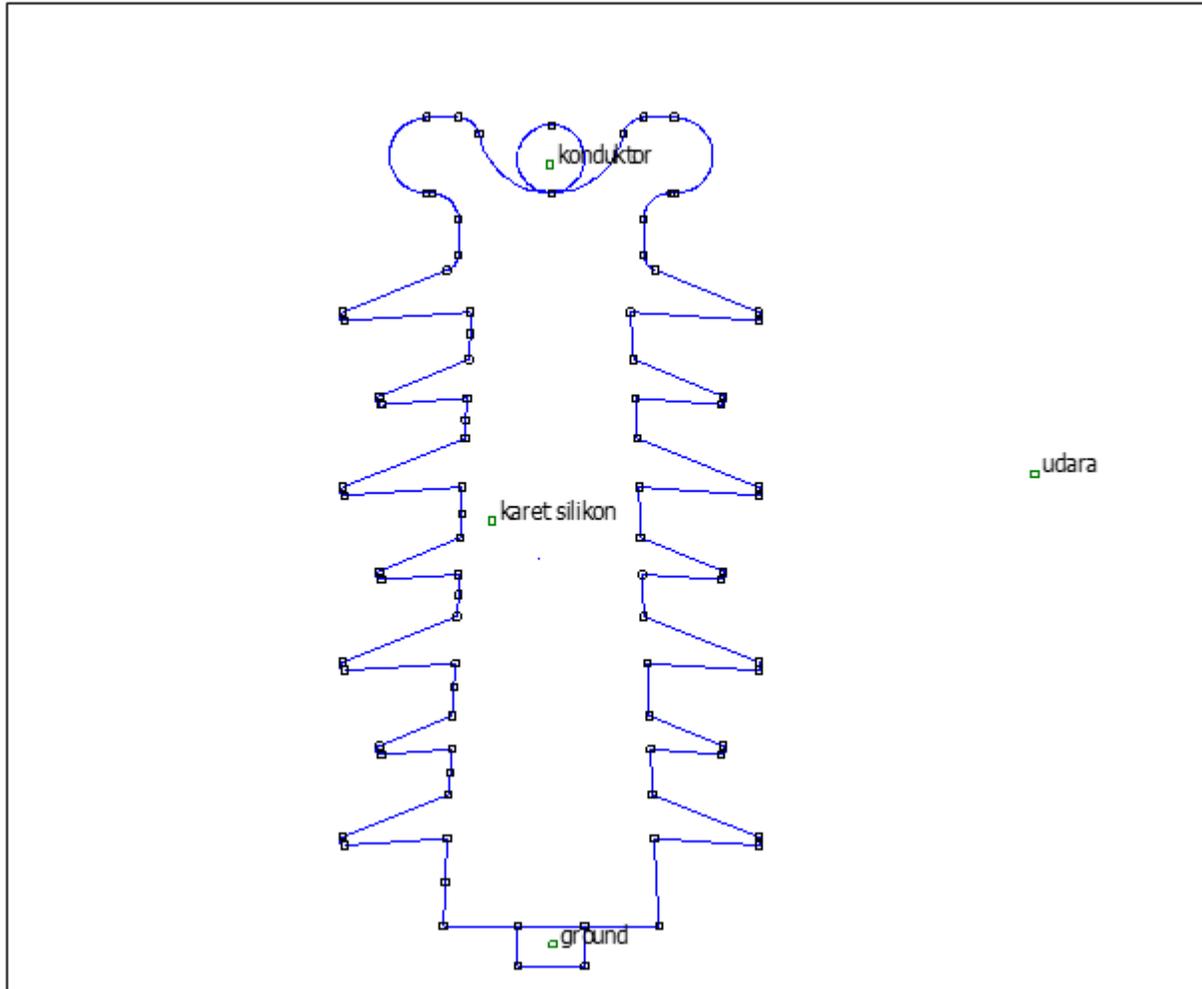
Impedansi isolator pada masing – masing titik pengamatan

$Z_n(M\Omega)$						
n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7
1172.7	62.39	62.71	32.78	18.68	8.74	69.57

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa nilai impedansi permukaan terbesar isolator terletak pada sirip pertama dengan nilai $1172.7 M\Omega$. Total impedansi pada isolator karet silikon adalah $1427.57 M\Omega$.

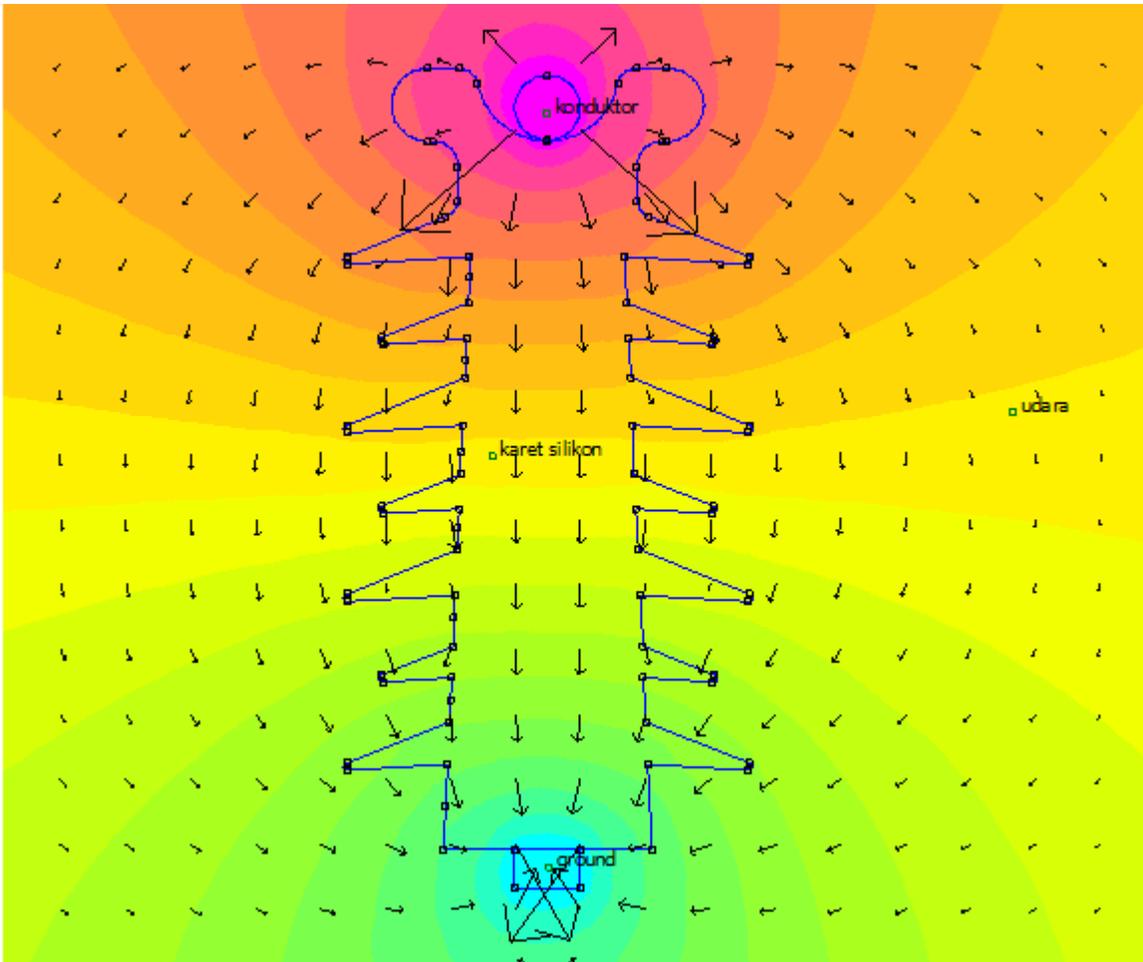
4.6 Simulasi distribusi medan listrik pada isolator karet silikon

Simulasi distribusi medan listrik pada isolator karet silikon akan dilakukan dengan menggunakan *software Finite Element Method Magnetics (FEMM)* versi 4.2. Dengan meniru bentuk isolator dan ruang uji ke dalam bidang dua dimensi, didapatkan gambar dua dimensi dari isolator dan ruang uji, dapat dilihat dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.5. Simulasi dua dimensi Isolator karet silikon

Untuk dapat merefleksikan keadaan sebenarnya *type problem* yang digunakan dalam simulasi ini adalah *axisymmetric problem*. Dengan memasukan nilai permitivitas relatif dari medium-medium yang digunakan pada Gambar 4.6, yaitu ϵ_r udara = 1, ϵ_r karet silikon = 3.2, ϵ_r konduktor = 25, dan tegangan yang diberikan pada konduktor sebesar 20kV. Dengan skala 40:1 dari ukuran sebenarnya maka simulasi dapat dimulai. Hasil simulasi menggunakan FEMM 4.2 dapat dilihat dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Distribusi medan listrik pada isolator karet silikon

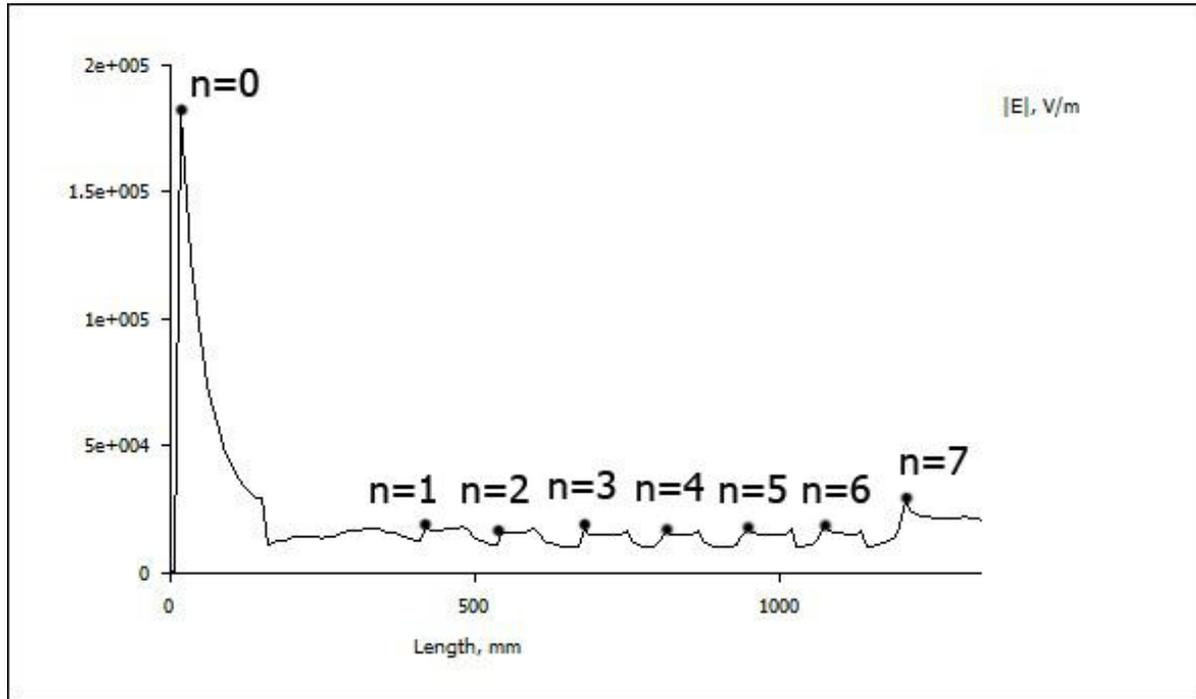
Dari Gambar 4.7 dapat dilihat distribusi medan listrik di sekitar isolator karet silikon. Warna merah menunjukkan distribusi medan yang sangat tinggi, sedangkan warna biru menunjukkan distribusi medan yang rendah. Dengan sumber tegangan yang digunakan 20 kV didapatkan nilai tertinggi medan listrik sebesar 1.627218×10^5 V/m terletak pada panah vektor paling besar. Nilai medan listrik terhadap jarak dari sumber tegangan dapat dilihat pada Gambar 4.8

Tabel 4.7

Nilai medan listrik terhadap jarak dari sumber tegangan

No	Jarak (mm)	Medan Listrik (V/m)
1	0.00	0.14
2	22.53	162721.84
3	45.06	102179.73
4	67.58	68039.62
5	90.11	49253.89

Untuk data selengkapnya dapat dilihat di lampiran 1. Dari nilai pada Tabel 4.7, jika dibuat dalam bentuk grafik maka akan menghasilkan grafik pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik distribusi medan listrik pada isolator karet silikon

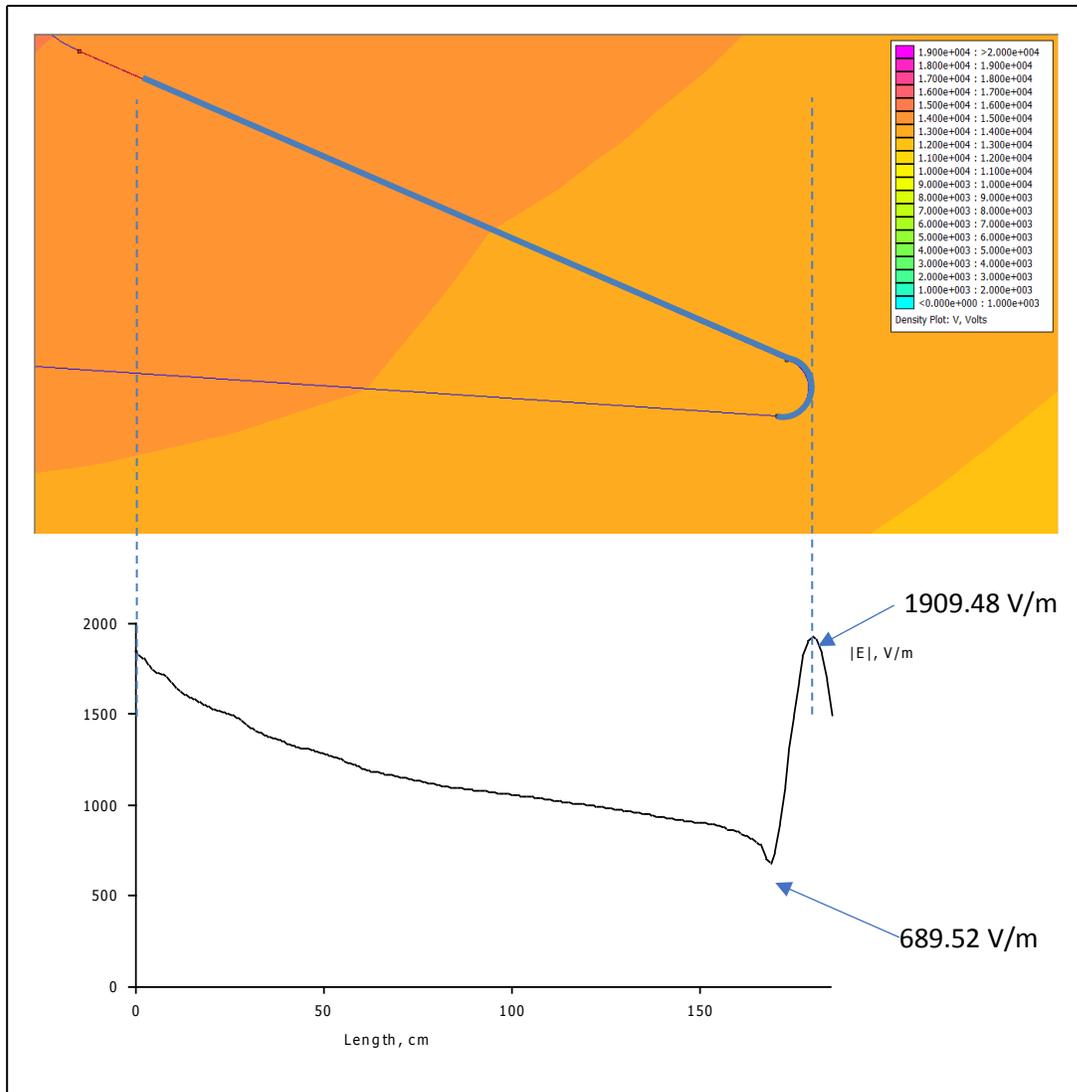
Berdasarkan Tabel 4.7 dan Gambar 4.8 maka dapat diperoleh nilai medan pada tiap titik pengamatan.

Tabel 4.8

Distribusi medan listrik pada setiap titik pengamatan

E (kV/m)							
n=0	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7
162.72718	21.021	20.350	17.939	19.007	18.963	19.458	25.343

Berdasarkan Gambar 4.8, jarak 0 mm menunjukkan titik terdekat dengan sumber tegangan yaitu pada titik pengamatan pertama. Terlihat bahwa distribusi medan listrik terbesar pada titik pengamatan 1, hal ini dikarenakan titik pengamatan 1 menerima distribusi tegangan terbesar karena merupakan titik pengamatan terdekat dengan sumber tegangan. Nilai distribusi ini akan semakin menurun pada titik pengamatan dengan jarak semakin jauh dari sumber tegangan.



Gambar 4.9 Distribusi medan listrik pada ujung sirip isolator karet silikon

Gambar 4.9 merupakan distribusi medan listrik dilihat dari penarikan garis biru sebagai bagian yang dihitung, dimana disetiap bagian mengalami perubahan nilai medan. Dapat dilihat dari hasil kurva, besar sudut sirip memiliki pengaruh terhadap nilai distribusi medan listrik, dimana pada ujung sudut sirip terjadi medan listrik lokal yang tinggi. Nilai medan listrik tertinggi pada ujung sirip isolator adalah 1909.48 V/m dan nilai medan terendah adalah 689.52 V/m. Nilai medan listrik pada ujung isolator makin besar dikarenakan terjadi penumpukan muatan medan listrik pada ujung isolator tersebut. Semakin runcing sudut sirip isolator maka semakin besar pula medan listrik lokal yang terjadi.