

Analisa Pengaruh Kontaminan Terhadap Distribusi Medan Listrik Pada Isolator Load Break Switch Menggunakan Finite Element Method

Grignion Kevin Ilham Pratama, I Made Yulistya Negara, dan Daniar Fahmi
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: grignion11@mhs.ee.its.ac.id, yulistya@ee.its.ac.id,

Abstrak— Load Break Switch adalah salah satu peralatan yang mengambil peran dalam sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi sebagai pembatas antar section. Salah satu bagian penting dari Load Break Switch dari Load Break Switch adalah isolatornya, dimana fungsi isolator disini untuk mengisolasi tegangan pada kawat penghantar agar tidak mengalir pada tiang distribusi. Isolator juga bertugas menahan medan listrik yang mengalir agar tidak terjadi distribusi medan listrik berlebihan yang dapat membahayakan makhluk hidup di sekitar tiang distribusi. Pada aplikasinya di lapangan, terdapat berbagai jenis kontaminan yang ada dan dapat mempengaruhi kemampuan dielektrik isolator Load Break Switch apabila menempel pada permukaannya. Oleh dari itu, diperlukan analisa pengaruh kontaminan terhadap distribusi medan listriknya. Pada tugas akhir ini, akan dilakukan analisa distribusi medan listrik pada Load Break Switch yang difokuskan pada bagian isolator menggunakan simulasi berbasis Finite Element Method. Analisa ini meliputi perbandingan medan listrik pada permukaan isolator, antara kondisi normal terhadap kondisi terkontaminasi air laut dan kondisi normal terhadap kondisi terkontaminasi debu. Dengan medan tertinggi saat kondisi isolator terkontaminasi air laut berturut-turut dengan kondisi terkontaminasi debu sebesar 266 kV/m dan 157 kV/m, sedangkan saat kondisi normal sebesar 162 kV/m.

Kata Kunci : Isolator, Load Break Switch, Finite Element Method, Medan Listrik, Kontaminan

I. PENDAHULUAN

Load Break Switch adalah salah satu peralatan yang mengambil peran dalam distribusi tenaga listrik. Pada saluran Tegangan Menengah (TM), daya ditransmisikan melalui transformator distribusi ke LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*), LBS berfungsi untuk pengamanan arus listriknya. LBS ditempatkan sebagai pembatas antar section dan berfungsi memutus beban listrik tanpa mengganggu kinerja penyulang lainnya. Operasi *switching* ini terjadi pada keadaan berbeban dan beroperasi pada tegangan tinggi [1], maka dari itu LBS dituntut memiliki sistem isolasi yang baik agar tidak membahayakan lingkungan disekitar LBS [2], yang mengharuskan LBS memiliki desain yang baik pula.

Bahan pada konstruksi isolator berpengaruh pada kekuatan dielektrik isolator tersebut [2]. Kemampuan dielektrik isolator juga dipengaruhi oleh tingkat kontaminan

dan kondisi permukaan isolator tersebut. Semakin berat tingkat kontaminan yang menempel, maka akan sangat mempengaruhi nilai medan listrik pada isolator itu sendiri [2].

Pada paper ini, akan dilakukan analisa menggunakan simulasi berbasis *Finite Element Method* (FEM) untuk menganalisis pengaruh kontaminan terhadap distribusi medan listrik pada isolator Load Break Switch. Dengan air laut dan debu sebagai kontaminannya.

II. LOAD BREAK SWITCH DAN KONTAMINAN

A. ESDD (*Equivalent Salt Density Deposit*)

Tingkat polutan garam yang berada pada permukaan isolator dapat mempengaruhi kemampuan dielektrik isolator tersebut. Menurut standar IEC 815, bobot polusi isolator ditetapkan menjadi empat, yaitu ringan, sedang, berat dan sangat berat. Metode umum yang digunakan untuk menentukan tingkat polusi adalah metode ESDD (*Equivalent Salt Density Deposit*) dan metode tinjauan lapangan [2].

Penentuan tingkat polusi isolator pada metode ESDD berdasarkan standart IEC 815 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkat polusi esdd berdasarkan standart IEC 815 : 1986

Tingkat Polusi	ESDD Maksimum (mg/cm ³)
Ringan	0.03 - 0.06
Sedang	0.01 - 0.2
Berat	0.3 - 0.6
Sangat Berat	> 0.80

Faktor koreksi b pada suhu antara 5 – 30°C yang digunakan dalam perhitungan berdasarkan IEC 507 : 1991.

Tabel 2. Nilai faktor korelasi berdasarkan IEC 507 : 1991

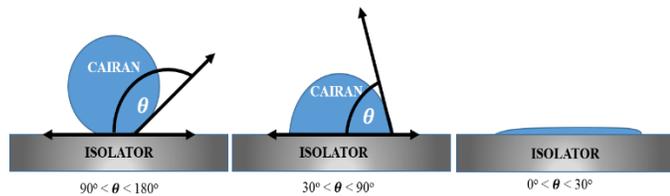
θ (°C)	b
5	0.03156
10	0.02817
20	0.02277

Untuk faktor korelasi antara 5 – 30°C yang tidak tercantum pada tabel, dapat dihitung menggunakan interpolasi.

B. Pembentukan Sudut Kontak Pada Butir Air

Sudut kontak (θ) merupakan sudut yang terbentuk antara permukaan isolator dengan air yang berada pada permukaan isolator. Besar sudut kontak yang terbentuk mempengaruhi sifat hydrofobik bahan isolator. Apabila nilai hydrofobik isolator berkurang, maka kemampuan dielektrik isolator pun berkurang [].

Pembentukan sudut kontak pada permukaan isolator dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam. Pertama saat permukaan isolator tidak basah, pada kondisi ini sudut kontak yang terbentuk antara butir air dengan permukaan isolator pada interval 90 s/d 180 derajat. Kondisi kedua saat basah sebagian, pada kondisi ini sudut kontak yang terbentuk antara butir air dengan permukaan isolator 30 s/d 89 derajat. Kondisi ketiga saat basah keseluruhan, sudut kontak yang terbentuk kurang dari 30 derajat.



Gambar 1. Pembentukan sudut kontak pada permukaan Isolator

C. Debu (Sandy Soil)

Pada aplikasinya di lapangan, seperti di kota-kota besar, PLTU, dan pabrik semen, tingkat kontaminan debu sangat tinggi. Tebal tipisnya kontaminan debu pada permukaan isolator, maka nilai medan listrik yang mengenai isolator tersebut akan berubah.

Pada simulasi ini akan dimodelkan adanya kontaminan debu pada permukaan sirip pertama isolator. Sehingga dapat di analisis pengaruh kontaminan debu terhadap kondisi medan listrik pada permukaan isolator, sirip pertama, dan permukaan isolator secara menyeluruh.

III. METODE DAN SIMULASI

A. Metode Element Hingga (FEM)

Metode yang digunakan untuk menganalisis nilai distribusi medan pada studi ini adalah metode element hingga (FEM). Prinsip dasar dari metode elemen hingga adalah proses diskretisasi. Dalam proses diskretisasi, suatu benda atau daerah yang dianalisis dibagi kedalam bentuk mesh (kumpulan elemen) yang saling terhubung, dan kemudian dimodelkan kedalam bentuk satu, dua atau tiga dimensi [8,11].

Nilai potensial listrik (V) juga berhubungan erat dengan kerapatan flux listrik (D). Dengan menggunakan persamaan Maxwell, dapat diketahui hubungan nilai potensial listrik dengan kerapatan flux.

$$\nabla \cdot D = \rho_v \tag{1}$$

Hubungan D dan E,

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E \tag{2}$$

Bila polarisasi dianggap nol, diperoleh persamaan,

$$\nabla \cdot \nabla V = -\frac{\rho_v}{\epsilon} \tag{3}$$

Dengan E merupakan intensitas medan magnet (V/m), V merupakan potensial listrik (V) dan D merupakan kerapatan flux listrik (C/m²)

Gradien potensial pada persamaan *Poisson* (3) dapat diuraikan menjadi persamaan berikut :

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} a_x + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} a_y + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} a_z = -\frac{\rho_v}{\epsilon} \tag{4}$$

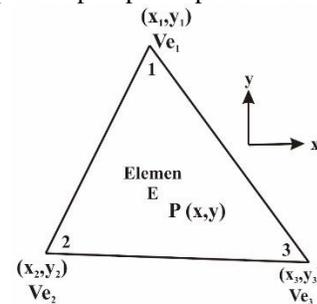
Bila ρ_v sama dengan nol, dengan kondisi muatan titik dan kerapatan muatan permukaan digunakan sebagai kondisi batas dan sumber medan, maka :

$$\nabla \cdot \nabla V = 0 \tag{5}$$

Persamaan (6) merupakan persamaan *Laplace*. Dan bila dirumuskan dalam koordinat cartesius, maka bentuk persamaan *Laplace* adalah :

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} a_x + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} a_y + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} a_z = 0 \tag{6}$$

Dalam menyelesaikan perhitungan distribusi medan listrik menggunakan metode elemen hingga, Load Break Switch dibagi kedalam bentuk elemen segitiga. Dengan memperkirakan potensial listrik (V) pada tiap elemen segitiga, maka akan diketahui nilai distribusi medan pada LBS. Nilai potensial listrik terletak pada titik yang terdapat pada tiap sudut segitiga. Setelah nilai potensial listrik pada setiap elemen segitiga diketahui. Lalu tiap elemen segitiga dihubungkan dengan segitiga yang lain dengan bentuk dan dimensi yang berbeda. Sehingga akan didapatkan nilai potensial listrik pada tiap-tiap titik pada LBS.



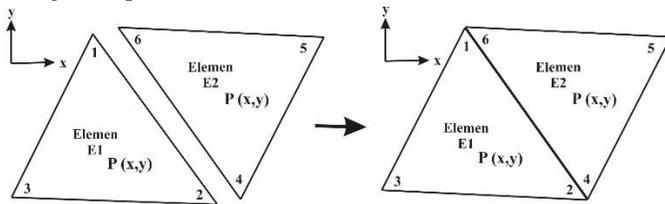
Gambar 2. Element segitiga pada suatu domain

Persamaan untuk mengetahui energi pada medan elektrostatik dapat ditulis sebagai metrik kuadrat :

$$W_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r V^T S V \tag{7}$$

Dengan mengetahui nilai permitivitas relatif (ϵ_r), permitivitas ruang hampa (ϵ_0), matriks potensial listrik (V) dan transpose matrik V (T) maka energi pada medan elektrostatis (W_E) dapat diketahui.

Setelah isolator didiskretisasi menjadi bentuk elemen segitiga, maka dapat dilakukan perhitungan potensial listrik pada seluruh bagian isolator dengan menggabungkan tiap-tiap elemen segitiga menjadi satu dimensi yang utuh. Dari nilai potensial listrik pada setiap penggabungan elemen segitiga, dapat diketahui nilai medan listrik (E), kerapatan fluks (D) dan energi (W) pada isolator.



Gambar 3. Penggabungan dua element segitiga

Energi pada element yang saling terhubung adalah :

$$W = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r V_{con}^T S V_{con} \tag{8}$$

Dengan,

$$S = C^T S_{dis} C \tag{9}$$

Persamaan 8 dan 9 merupakan matriks koefisien dari segitiga yang saling terhubung. Matriks koefisiensi dari penggabungan dua element segitiga seperti pada gambar 3 adalah :

$$S = \begin{bmatrix} S_{11}^{(1)} + S_{66}^{(2)} & S_{12}^{(1)} + S_{64}^{(2)} & S_{13}^{(1)} & S_{65}^{(2)} \\ S_{21}^{(1)} + S_{46}^{(2)} & S_{22}^{(1)} + S_{44}^{(2)} & S_{23}^{(1)} & S_{45}^{(2)} \\ S_{31}^{(1)} & S_{32}^{(1)} & S_{33}^{(1)} & 0 \\ S_{56}^{(1)} & S_{54}^{(1)} & 0 & S_{55}^{(2)} \end{bmatrix} \tag{10}$$

B. Kontaminan Air Laut pada Permukaan Isolator

Untuk mengetahui nilai ESDD, nilai konduktifitas air dengan polutan garam harus diketahui. Perhitungan nilai konduktifitas air menggunakan persamaan (11).

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b(\theta - 20)] \tag{11}$$

Untuk merubah konduktifitas pada suhu σ_{θ} menjadi konduktifitas pada suhu 20°C, dapat menggunakan persamaan (11) dengan mengetahui faktor korelasi b pada suhu θ .

$$S_a = (5.7 \times \sigma_{20})^{1.03} \tag{12}$$

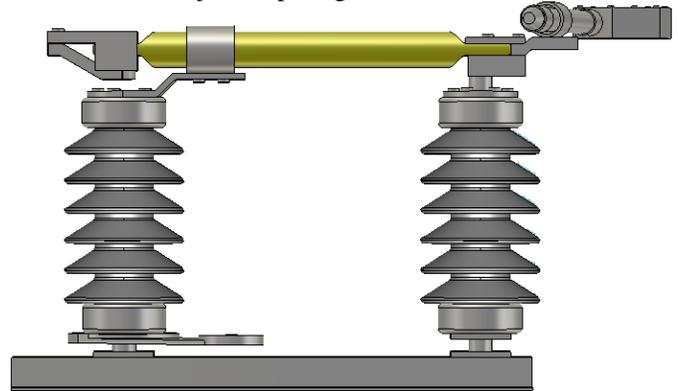
Dari persamaan (2), maka nilai ESDD dapat diketahui :

$$ESDD = \frac{S_a \times V}{A} \tag{13}$$

Dengan mengetahui volume air (V), salinasi garam (S_a) dan luas isolator yang dikenai kontaminan (A). Maka dapat dihitung nilai ESDD pada suatu kontaminan garam.

C. Pemodelan Load Break Switch

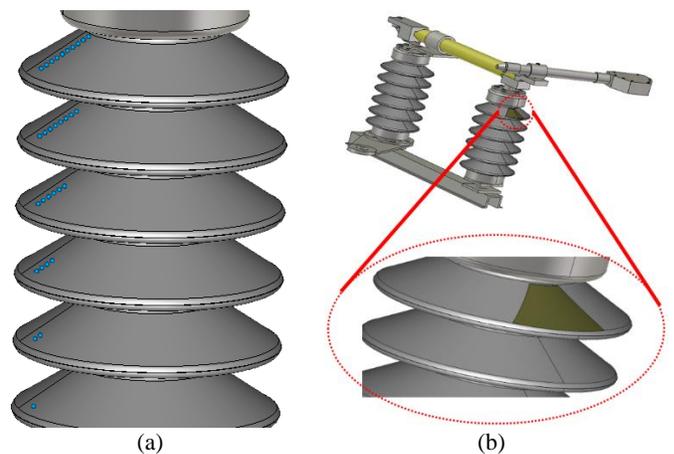
Hasil pemodelan 3D Load Break Switch dilakukan di CST Studio Suite ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Pemodelan Load Break Switch

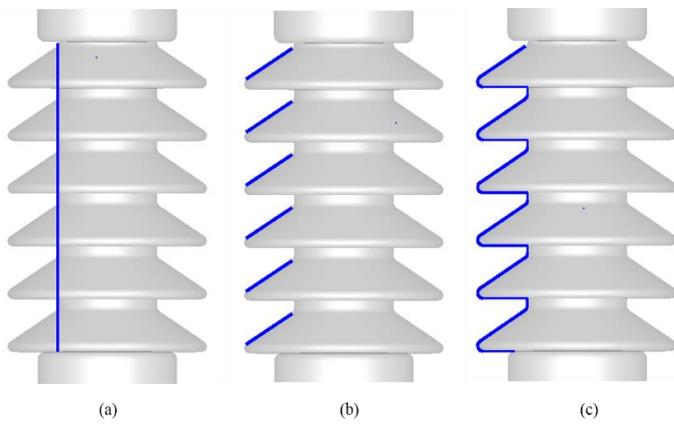
D. Peletakan Kontaminan Pada Permukaan Isolator

Ada dua variasi pemodelan isolator pada simulasi ini. Pemodelan yang pertama pengaruh peletakan kontaminan butir air laut, dan pemodelan yang kedua peletakan kontaminan debu. Pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan distribusi medan listrik pada kedua jenis kontaminan dengan kondisi normal. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. (a) Peletakan Kontaminan Butir Air Laut (b) Peletakan Kontaminan Debu

Penarikan kurva untuk hasil simulasi dilakukan pada permukaan isolator. Pertama, penarikan kurva pada badan isolator. Kedua, penarikan kurva pada sirip isolator, dan ketiga pada permukaan isolator secara menyeluruh. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Penarikan garis pada isolator untuk kurva

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

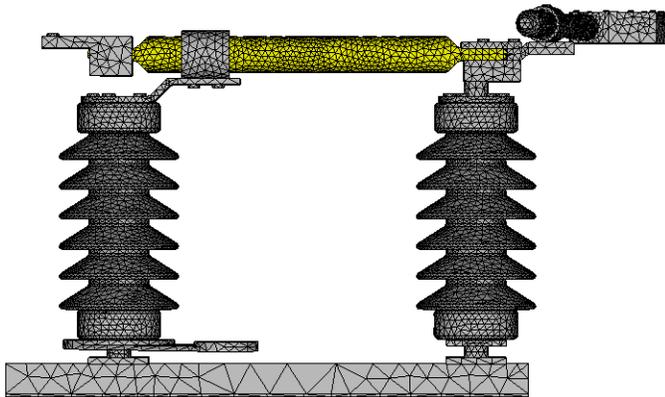
Pada bagian ini akan memaparkan hasil simulasi dan analisis hasil simulasi Load Break Switch bahan porselin. Tegangan kerja yang digunakan pada simulasi ini adalah 27 KV.

A. Pemodelan LBS Dalam Bentuk Element Segitiga

Untuk menghitung nilai distribusi medan listrik pada seluruh bagian LBS, LBS dimodelkan kedalam bentuk elemen segitiga (*Tetrahedral Mesh*) seperti pada gambar 7. Untuk tiap parameter yang disimulasikan, jumlah elemen segitiga yang terbentuk tidak sama. Pada tabel 3 menunjukkan jumlah elemen segitiga pada tiap parameter yang disimulasikan.

Tabel 3. Jumlah element segitiga yang terbentuk pada setiap parameter simulasi

Bahan Inti Isolator	Parameter	Element Segitiga
Porselin	Normal	291.007
	Butir Air Laut	288.196
	Debu	634.769

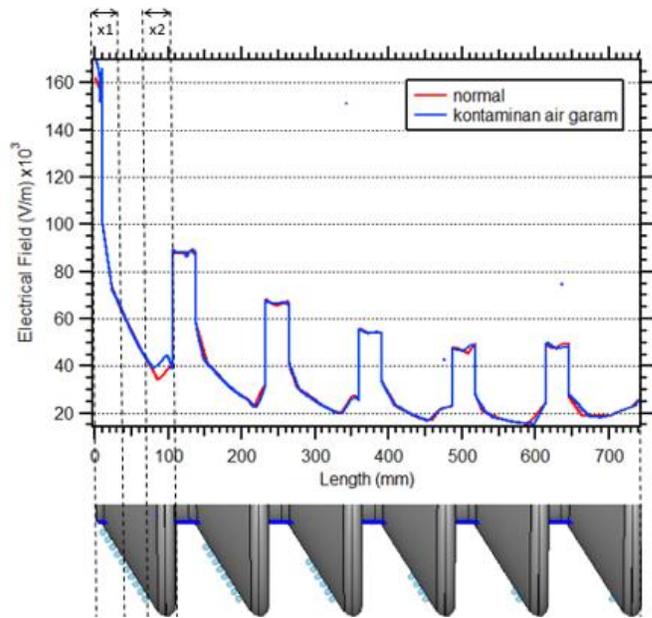


Gambar 7. Pemodelan elemen segitiga pada LBS

B. Perbandingan Medan Listrik pada Isolator Load Break Switch pada Kondisi Normal dengan Kondisi Terkontaminasi Air Laut

1. Perbandingan Medan Listrik Pada Permukaan Isolator

Perbandingan medan listrik pada permukaan isolator *Load Break Switch* dapat dilihat pada gambar 8. terlihat bahwa medan listrik awal (pada jarak x1) pada isolator yang terkena kontaminan lebih tinggi dari pada kondisi saat normal. Pada kondisi terkontaminasi adalah sebesar 169×10^3 V/m, sedangkan pada saat kondisi normal hanya sebesar 162×10^3 V/m. Lonjakan medan listrik juga terlihat cukup besar pada sirip pertama isolator (jarak x2) yang memiliki kontaminan terbanyak, yaitu pada jarak 70-110 mm dengan besar 45×10^3 V/m, bila dibandingkan dengan kondisi normal yaitu 34×10^3 . Pada kedua kondisi terlihat semakin ke kanan nilai medan listrik semakin menurun ini disebabkan fungsi isolasi dari isolator tersebut dan nilai paling kecil terlihat pada ujung garis bagian bawah (sirip keenam), yaitu 15×10^3 V/m.



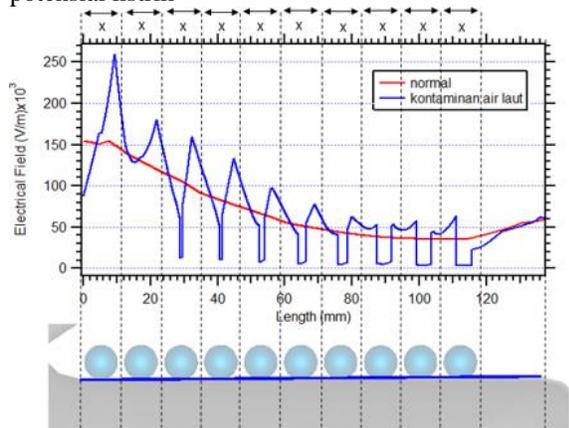
Gambar 8 Perbandingan medan listrik pada permukaan isolator LBS pada kondisi normal dan kondisi terkontaminasi air laut

2. Perbandingan Medan Listrik Antar Sirip Isolator

a. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Pertama

Pada sirip pertama isolator terdapat kontaminan tertinggi bila dibandingkan dengan sirip lainnya, kondisi medan pada sirip pertama sangat fluktuatif bila dibandingkan dengan kondisi medan listrik pada kondisi normal. Terdapat kenaikan medan listrik pada sirip pertama. Pada kondisi normal medan listrik tertinggi adalah pada nilai 154×10^3 V/m sedangkan medan listrik tertinggi saat kondisi terkontaminasi adalah pada nilai 266×10^3 V/m. Dapat dilihat pada kurva pada gambar 9 bahwa pada jarak x, medan listrik mengalami perubahan bila dibandingkan dengan kondisi normal. Dimulai dari kondisi medan listrik pada isolator yang terkena kontaminan pada awalnya menurun, kemudian naik lagi. Hal ini disebabkan pembentukan sudut kontak antara kontaminan dan permukaan sirip isolator. Kenaikan medan listrik

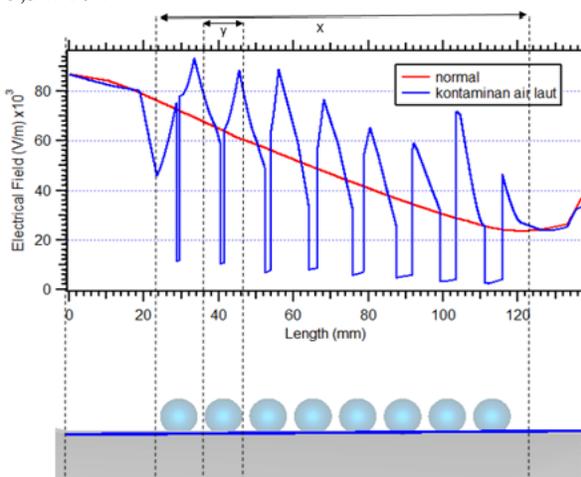
tertinggi terjadi pada butir air yang paling pertama, hal ini disebabkan semakin dekatnya dengan sumber potensial listrik



Gambar 9. Perbandingan medan listrik pada sirip pertama

b. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Kedua

Jumlah kontaminan pada sirip kedua lebih sedikit jika dibandingkan dengan sirip pertama isolator *Load Break Switch*. Terlihat pada lonjakan medan listrik pada kondisi ini tidak sebanyak dari medan listrik pada sirip pertama. Pada gambar 10, terlihat pada kurva, bahwa medan listrik pada sirip kedua isolator saat kondisi terkontaminasi air laut yang berwarna biru mulai berubah di titik 18 mm, lalu pada rongga jeda antara kontaminan medan listrik turun, dan pada titik 30 mm, medan listrik mulai naik lagi dikarenakan pengaruh kontaminan pada jarak *y*. Begitu seterusnya, hingga pada akhir *x*, medan listrik menanjak naik lagi, mendekati medan listrik pada keadaan normal. Nilai medan listrik tertinggi pada kondisi normal $86,8 \times 10^3$, namun pada kondisi terkontaminasi air laut naik sampai $93,3 \times 10^3$.

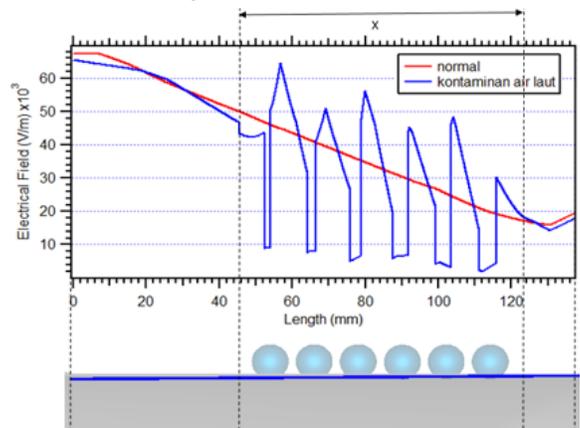


Gambar 10. Perbandingan medan listrik pada sirip kedua

c. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Ketiga

Perbandingan medan listrik antara kondisi normal dan kondisi terkontaminasi pada sirip isolator keempat dapat dilihat pada gambar 11. Jumlah kontaminan pada sirip ini lebih sedikit jika dibandingkan dengan kontaminan

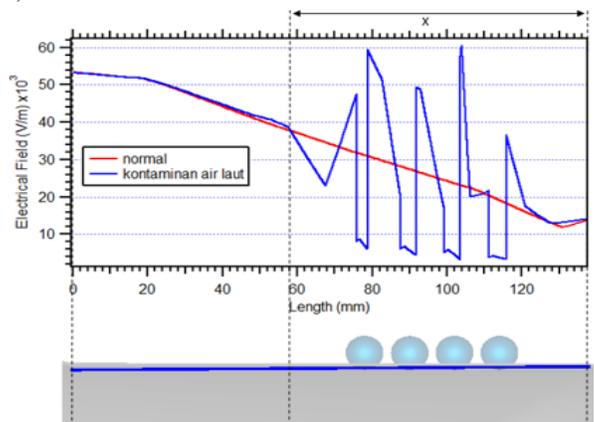
pada sirip sebelumnya. Hampir sama seperti kondisi medan listrik pada sirip sebelumnya, saat kondisi terkontaminasi, perubahan mulai terjadi di jarak 46 mm (awal *x*). Pada sirip ini, naik turunnya medan berakhir di jarak 124 mm (akhir *x*), dimana medan listrik kondisi kontaminan mulai menurun dan mendekati medan listrik kondisi normal. Medan listrik pada saat kondisi normal tertinggi dan terendah berturut-turut adalah sebesar $67,5 \times 10^3$ V/m dan 16×10^3 V/m. untuk kondisi terkontaminasi medan tertinggi pada $65,4 \times 10^3$ V/m dan terendah pada $2,07 \times 10^3$ V/m.



Gambar 11. Perbandingan medan listrik pada sirip ketiga

d. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Keempat

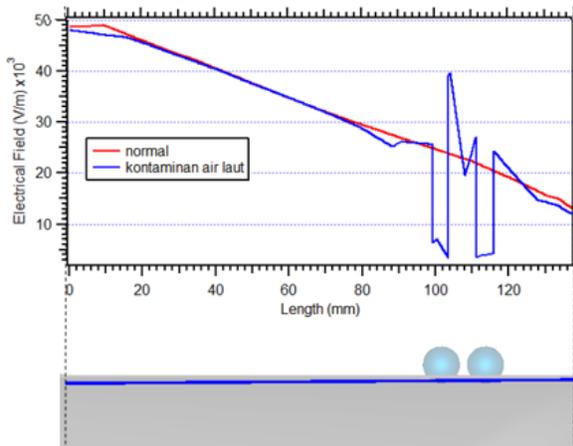
Dilihat dari kurva yang terdapat pada gambar 12, perbedaan antara kurva normal dan terkontaminasi terlihat jelas pada jarak *x*, dimana pada *x*, medan listrik kondisi terkontaminasi mengalami perubahan yang fluktuatif. Perubahan mulai terlihat di awal *x*, lalu medan listrik mengalami kondisi naik turun, kemudian di akhir *x* (120 – 137 mm), medan listrik kembali turun dan mendekati medan listrik pada kondisi normal. Medan listrik pada saat kondisi normal tertinggi dan terendah berturut-turut adalah sebesar $53,4 \times 10^3$ V/m dan $11,9 \times 10^3$ V/m. untuk kondisi terkontaminasi medan tertinggi pada $60,5 \times 10^3$ V/m dan terendah pada $3,26 \times 10^3$ V/m.



Gambar 12. Perbandingan medan listrik pada sirip keempat

e. Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Kelima

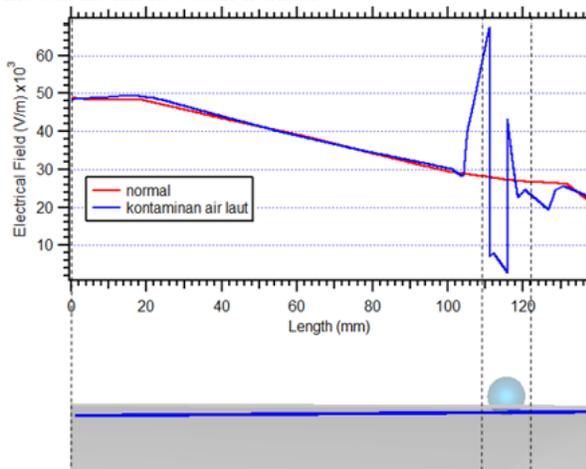
Gambar 13 mendeskripsikan perbandingan medan listrik antara medan listrik kondisi normal dengan kondisi kontaminasi air laut pada sirip kelima isolator *Load Break Switch*. Kontaminasi pada sirip ini jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan sirip empat. Pada titik 90 mm sudah mulai mengalami perubahan pada sirip isolator yang terkontaminasi, kemudian anjlok pada titik 108 mm sampai 3,4 V/m dikarenakan pengaruh pembentukan sudut butir air laut, lalu pada titik 104 mm medan listrik naik lagi pada rongga udara sampai 40×10^3 V/m, dan turun lagi pada titik 112 mm sampai 3,4 V/m dikarenakan pembentukan sudut kontak butir air laut. Kemudian di ujung butir air laut yang kedua kurva turun dan mendekati kurva pada kondisi normal.



Gambar 13. Perbandingan medan listrik pada sirip kelima

f. *Perbandingan Medan Listrik pada Sirip Keenam*

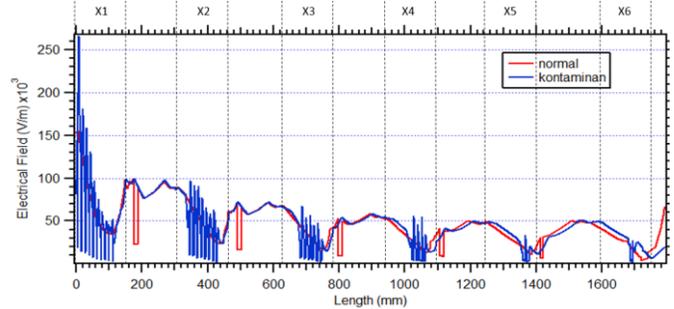
Perbandingan medan listrik pada sirip keenam isolator *Load Break Switch* saat kondisi sirip normal dan kondisi sirip terkontaminasi dapat dilihat pada gambar 14. Pada sirip keenam ini, jumlah kontaminasi paling sedikit dibandingkan dengan sirip-sirip isolator lainnya. Lonjakan medan listrik tertinggi diakibatkan oleh butir kontaminasi kedua, sebesar 16,7 V/m kemudian turun sampai 3,42 V/m. Setelah melewati butir air laut, medan terus menurun kemudian naik dan mendekati medan listrik keadaan normal.



Gambar 14. Perbandingan medan listrik pada sirip keenam

3. *Perbandingan Medan Listrik pada Permukaan Isolator Secara Menyeluruh*

Untuk perbandingan medan listrik antara kondisi normal dan terkontaminasi butir air laut dapat dilihat pada gambar 15. Pada jarak x1, x2, x3, x4, x5, x6 terlihat perbedaan medan listrik yang signifikan antara kurva isolator yang terkontaminasi air laut dengan kurva pada kondisi normal. Hal ini disebabkan oleh adanya kontaminasi berupa butir air laut pada tiap sirip isolator. Pengaruh kontaminasi pada medan listrik paling terlihat pada sirip pertama, dimana terdapat kontaminasi tertinggi dibandingkan dengan sirip lainnya. Pada sirip pertama, lonjakan medan listrik mencapai 266×10^3 V/m dan berada di titik terbawahnya yaitu $3,3 \times 10^3$ V/m. Nilai tertinggi medan listrik berturut-turut dari sirip kedua, ketiga, keempat, kelima, dan keenam adalah $93,3 \times 10^3$ V/m, $67,4 \times 10^3$ V/m, $55,9 \times 10^3$ V/m, $33,3 \times 10^3$ V/m, 27×10^3 V/m dan nilai terendah medan listrik berturut-turut dari sirip kedua, ketiga, keempat, kelima, dan keenam adalah $2,4 \times 10^3$ V/m, 2×10^3 V/m, $2,3 \times 10^3$ V/m, dan $2,3 \times 10^3$ V/m.

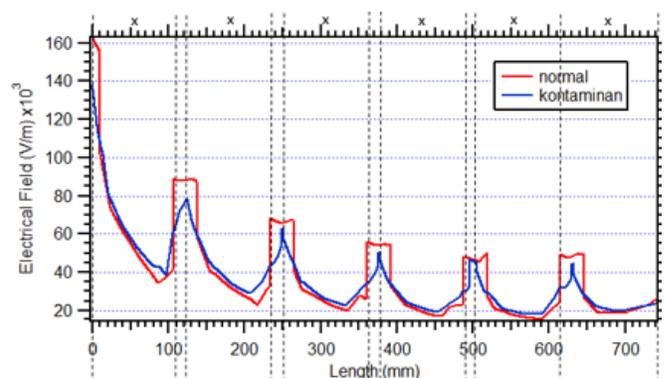


Gambar 15. Kurva perbandingan medan listrik pada seluruh permukaan isolator

B. *Perbandingan Medan Listrik pada Isolator Load Break Switch pada Kondisi Normal dengan Kondisi Terkontaminasi Debu*

1. *Perbandingan Medan Listrik pada Permukaan Isolator*

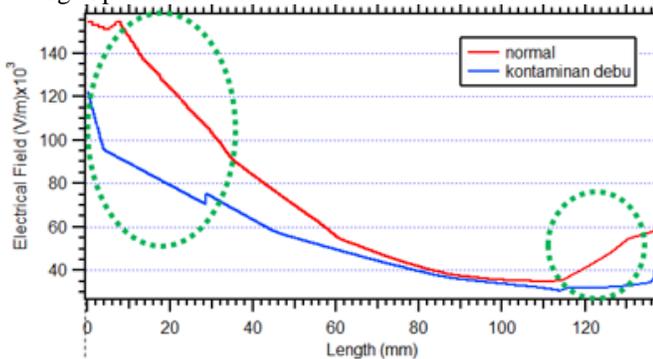
Pada gambar 16, dapat dilihat perbandingan medan listrik pada permukaan isolator antara kondisi normal terhadap kondisi terkontaminasi debu. Saat kondisi normal, nilai medan awal ada pada nilai 162×10^3 V/m sedangkan pada kondisi terkontaminasi debu, nilai medan ada pada nilai 138×10^3 V/m. Rata-rata medan listrik antara kondisi normal adalah $37,9 \times 10^3$ V/m dan terkontaminasi adalah $36,5 \times 10^3$ V/m, sehingga selisih diantara keduanya adalah sebesar 1.41×10^3 V/m.



Gambar 16. Perbandingan medan listrik kurva pada permukaan

2. Perbandingan Medan Listrik pada Permukaan Isolator

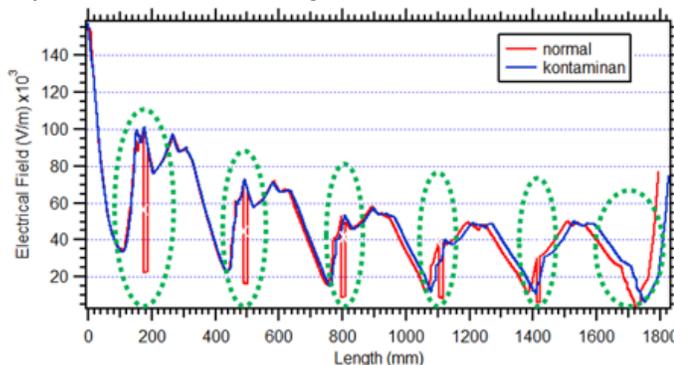
Perbandingan medan listrik antara kondisi normal dengan kondisi terkontaminasi debu dapat dilihat pada gambar 17. Terjadi perbedaan nilai medan listrik antara kondisi normal dengan kondisi terkontaminasi. Nilai medan awal pada kondisi normal sebesar $59,3 \times 10^3$ V/m, sedangkan pada kondisi terkontaminasi debu adalah sebesar $43,2 \times 10^3$ V/m. Perbedaan terlihat jelas pada bagian yang ditandai dengan lingkaran dengan titik-titik hijau, dimana pada bagian tersebut terjadi perubahan medan listrik pada kondisi terkontaminasi dibandingkan kondisi normal. Pada lingkaran yang lebih kecil perbedaan terjadi sebesar $16,1 \times 10^3$ V/m dan pada lingkaran yang besar terjadi perbedaan sebesar 62×10^3 V/m, perbedaan yang jauh ini disebabkan karena pada daerah dengan lingkaran yang lebih besar lebih dekat dengan potensial listrik.



Gambar. 17. Perbandingan medan listrik pada sirip pertama isolator

3. Perbandingan Medan Listrik pada Permukaan Isolator Secara Menyeluruh

Untuk perbandingan medan listrik antara kondisi normal dengan terkontaminasi debu dapat dilihat pada gambar 18. Pada bagian yang dilingkari titik-titik hijau, terlihat perbedaan medan listrik yang signifikan antara kondisi normal dan terkontaminasi. Bagian ini adalah bagian bawah sirip isolator LBS. Dimana pada kondisi normal, bagian ini seharusnya memiliki medan listrik yang kecil, namun pada kondisi terkontaminasi medan listrik terus menanjak. Perbedaan pada bagian ini berturut-turut dari sirip pertama sampai sirip keenam adalah $78,7 \times 10^3$ V/m, $57,2 \times 10^3$ V/m, $44,4 \times 10^3$ V/m, $40,3 \times 10^3$ V/m, $24,7 \times 10^3$ V/m, dan $14,85 \times 10^3$ V/m. Perbedaan tertinggi ada pada bagian bawah sirip pertama dikarenakan adanya kontaminasi debu.



Gambar 18. Kurva perbandingan medan listrik pada seluruh permukaan isolator

V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisa data, dapat diambil beberapa kesimpulan dari distribusi medan listrik pada isolator Load Break Switch bahan porselin adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan perbandingan medan listrik pada permukaan isolator LBS pada kondisi normal dengan kondisi terkontaminasi air laut, dapat disimpulkan bahwa:
 - a. Pada permukaan isolator, medan listrik tertinggi pada kondisi terkontaminasi lebih tinggi yaitu sebesar 169×10^3 V/m sedangkan pada kondisi normal hanya berada pada nilai 162×10^3 V/m. Hal ini disebabkan oleh pengaruh peletakan kontaminan butiran-butiran air laut pada sirip-sirip isolator.
 - b. Pada sirip-sirip isolator, medan listrik tertinggi ada pada sirip pertama isolator pada nilai 266×10^3 V/m sedangkan pada kondisi normal hanya berada pada nilai 154×10^3 V/m. Hal ini dikarenakan kontaminasi tertinggi ada pada sirip pertama isolator.
 - c. Pada permukaan isolator secara menyeluruh, lonjakan medan listrik tertinggi terdapat pada jarak X1 sebesar 116×10^3 V/m yang disebabkan oleh kontaminasi tertinggi ada pada jarak tersebut.
2. Berdasarkan perbandingan medan listrik pada permukaan isolator LBS pada kondisi normal dengan kondisi terkontaminasi debu, dapat disimpulkan bahwa:
 - a. Pada permukaan isolator, medan listrik tertinggi pada kondisi terkontaminasi lebih rendah yaitu sebesar 138×10^3 V/m, sedangkan pada kondisi normal nilai berada pada 162×10^3 V/m.
 - b. Pada sirip pertama isolator, nilai medan listrik awal pada kondisi terkontaminasi lebih rendah yaitu sebesar $43,2 \times 10^3$ V/m, sedangkan pada kondisi normal medan listrik berada pada nilai $59,3 \times 10^3$ V/m.
 - c. Pada permukaan isolator secara menyeluruh, medan listrik tertinggi pada kondisi normal lebih tinggi yaitu pada nilai 154×10^3 V/m, sedangkan pada kondisi normal berada pada nilai 122×10^3 V/m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Cavallaro, S. Musumeci, F. Chimento, and C. Santonocito, "CAD Investigation of Voltage Potential and Electrical Field Distribution on 36 kV Load Break Switch", University of Catania, Italy,
- [2] Yusrizal Afif, Dimas Anton Asfani, dan I Made Yulistya Negara, "Analisis Distribusi Medan Listrik Pada Isolator Gantung Menggunakan Finite Element Method", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [3] Ahmad Danyalin, I Made Yulistya Negara, dan Daniar Fahmi, "Analisis Distribusi Medan Listrik pada Isolator Gantung di Ketiga Fasa saat Terkena Flashover Menggunakan Simulasi Berbasis FEM", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [4] M. Reza Yogatama, I Made Yulistya Negara, dan Daniar Fahmi, "Analisis Distribusi Medan Listrik pada Bushing Trafi Menggunakan CST Studio Suite", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.

- [5] I Made Yulistya Negara, *“Teknik Tegangan Tinggi Prinsip dan Aplikasi Praktis”*, Graha Ilmu, 2013
- [6] Rudy Simon Steven, Iwa Garniwa, *“Pengaruh Polutan terhadap Isolator Epoxy Resin”*, Universitas Indonesia, Jakarta, 2008.
- [7] Hafizh Rahman, Abdul Syakur, Yuningtyastuti, *“Pengaruh Equivalent Salt Deposit Density (ESDD) terhadap Tegangan Flashover dan Arus Bocor pada Isolator Berbahan Resin Epoksi Silane dengan Pengisi Bahan Bakar Pasir Silika”*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [8] ANSI/ IEEE C37.40. *“Service Conditions and Definitions for High-Voltage Fuses, Distribution Enclosed Single-Pole Air Switches, Fuse Disconnection Switches, and Accessories”*, USA, 1981.

RIWAYAT HIDUP



Grignion Kevin Ilham Pratama, lahir di Jakarta, 15 Agustus 1993. Penulis memulai pendidikan Sekolah Dasar di SD St. Laurensia, setelah lulus pada tahun 2005 melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPK BPK PENABUR Gading Serpong. Pada tahun 2008 lulus, kemudian melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas di SMAT Krida Nusantaradan lulus di tahun 2011. Di tahun yang sama melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil Jurusan Teknik Elektro. Selama kuliah, penulis aktif di divisi Kalpataru Teknik Elektro sebagai pengurus. Penulis mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga dan fokus pada riset mengenai isolator. Penulis dapat dihubungi melalui email grignion11@mhs.ee.its.ac.id