

Persebaran Medan Listrik akibat Proses *Exothermic Welding* pada Kabel Tegangan Menengah 20 kV

Riyani Prima Dewi^{1*}, Saepul Rahmat²

^{1, 2}Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap

^{1, 2}Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

E-mail: ryanipd@pnc.ac.id¹, saepulrahmat06@gmail.com²

Info Naskah:

Naskah masuk: 2 November 2020

Direvisi: 14 Maret 2021

Diterima: 18 Maret 2021

Abstrak

Pada jaringan distribusi 20 kV digunakan kabel berisolasi dan konduktor dari bahan tembaga serabut maupun pejal. Beberapa kendala pada jaringan 20 kV terjadi akibat panjangnya jarak saluran. Umumnya kendala ini terjadi pada kabel yaitu pada bagian sambungan kabel. Untuk mengatasi kendala tersebut dikembangkan suatu teknik penyambungan kabel yang dikenal dengan nama *extothermic welding*. Namun pada proses ini pula tidak dipungkiri adanya penebalan akibat sambungan yang menyebabkan terjadinya persebaran medan listrik tidak merata pada kabel. Untuk mengetahui persebaran medan listrik pada permukaan kabel yang telah dilakukan proses *exothermic welding*, dilakukan simulasi pada FEMM 4.2 dengan 3 kondisi akhir penyambungan yaitu *jointing* sempurna, *jointing* dengan penebalan 0,5 mm dan *jointing* dengan penebalan 1 mm. Akibat *jointing* yang tidak sempurna ini persebaran medan listrik pada permukaan kabel menjadi tidak merata. Terjadi lonjakan medan listrik yang tinggi pada ujung-ujung sambungan kabel dengan penebalan 1 mm dan berkurang lonjakannya pada kabel dengan penebalan 0,5 mm pada sambungan. Pada sambungan dengan *jointing* sempurna, persebaran medan listrik terjadi secara merata.

Keywords:

exothermic welding;
jointing;
electric field;
cable 20 kV.

Abstract

In the 20 kV distribution system, insulated cables and conductors of fibrous and solid copper are used. Some problems on 20 kV system occur due to the line length of the lines. This obstacle occurs in the cable, mostly at the cable connection. To overcome this problem, a cable connection technique known as *extothermic welding* was developed. However, in this process, it is also undeniable that there is a thickening due to the contact which causes the uneven distribution of the electric field in the cable. To see the distribution of the electric field on the surface of the cable that was carried out by the *exothermic welding* process, a simulation was carried out in FEMM 4.2 with 3 final connection conditions, namely perfect *jointing*, *jointing* with a thickness of 0.5 mm and *jointing* with a thickness of 1 mm. As a result of this imperfect connection, the distribution of the electric field on the surface cable is uneven. There was a high electric field surge at the ends of the cable joint with a thickness of 1 mm and a reduced surge in the cable with a thickness of 0.5 mm at the joint. In a perfect connection, the distribution of the electric field occurs evenly.

*Penulis korespondensi:

Riyani Prima Dewi

E-mail: ryanipd@pnc.ac.id

1. Pendahuluan

Jaringan distribusi 20 kV merupakan jaringan yang paling sering ditemui disekitar kita. Pada jaringan ini digunakan kabel berisolasi dari bahan isolator dan konduktor dari bahan tembaga serabut maupun pejal. Untuk menyalurkan energi secara kontinu dibutuhkan keandalan pada jaringan yang baik dan memenuhi standar. Lingkup dari jaringan tegangan menengah pada sistem tenaga meliputi terminal (*Out-going*) pemutus tenaga dari transformator *step down* pada gardu induk atau transformator penaik tegangan pada pembangkit pada sistem distribusi skala kecil hingga peralatan pemisah/proteksi sisi (*incoming*) transformator distribusi 20 kV / (231 – 400) kV.

Pada penyaluran jaringan distribusi 20 kV sering dijumpai beberapa kendala. Rugi-rugi daya akibat adanya tegangan jatuh yang berbanding lurus dengan tahanan pada penghantar yang panjang karena jarak pelanggan dengan gardu distribusi yang jauh. Penelitian untuk memperbaiki rugi-rugi daya ini telah dilakukan dengan memasang *capacitor bank* pada jaringan dan menganalisisnya baik simulasi maupun pengujian langsung terbukti menghasilkan penurunan rugi-rugi daya [1][2][3]. Kendala lainnya adalah kegagalan isolasi kabel yang umumnya kegagalan ini terjadi pada aksesoris kabel dan kebanyakan terjadi pada sambungan kabel [4]. Kegagalan ini disebabkan oleh sering dijumpainya cacat dalam proses penyambungan kabel tegangan menengah 20 kV. Titik sambungan ini yang biasanya menjadi titik terlemah dari keandalan penyaluran suatu sistem tenaga, sehingga sering terjadi kegagalan operasi pada sambungan, *water treeing* yang menyebabkan distribusi tenaga listrik mengalami *losses*, dan beragam faktor lainnya[5]. Titik sambungan yang tidak rata menyebabkan persebaran medan listrik disekitar kabel dan isolasi menjadi tidak merata. Tidak meratanya medan listrik ini memicu *breakdown* pada isolasi kabel yang mengawali adanya arus bocor yang mengalir. Karena itu perlu menganalisis seperti apa persebaran medan listrik di sekitar sambungan kabel untuk mengantisipasi arus bocor dan kegagalan isolasi.

Salah satu contoh kasus kegagalan isolasi kabel tegangan menengah 20 kV yang menimbulkan kerugian [6] ialah padamnya aliran listrik di wilayah Jatirangon, Jakarta Timur akibat transformator 150 kV/20 kV ke 4 di Gardu Induk Jatirangon mengalami gangguan. Setelah diperiksa ternyata ada arus bocor yang besar pada kabel tegangan menengah yang mengakibatkan terjadinya gangguan tersebut. Dari kasus ini dapat kita simpulkan bahwa kegagalan isolasi pada kabel memberikan dampak yang merugikan baik bagi pelanggan maupun PLN.

Cara untuk mengetahui arus bocor pada kabel ialah dengan melakukan monitoring dan pengukuran langsung. Sedangkan untuk menganalisis kemungkinan terjadi arus bocor pada kabel, salah satu pencegahannya adalah dengan melakukan simulasi persebaran medan listrik disekitar kabel sehingga dapat dianalisis potensi *breakdown* yang menyebabkan arus bocor. Simulasi dapat dilakukan di titik-titik yang rawan terjadi kegagalan seperti pada sambungan antar kabel atau sambungan kabel ke peralatan lainnya.

Pendekatan secara numerik untuk mengetahui persebaran medan listrik pada kabel dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga (*finite element method*). Metode elemen hingga didasarkan pada suatu konsep dimana fungsi kontinu (seperti suhu, tekanan dan lain sebagainya) didekati dengan suatu model diskrit yang terdiri dari satu set *piecewise continuous function*[7]. Metode ini biasanya digunakan untuk menganalisis perpindahan panas pada plat[7], persebaran/distribusi panas sekitar kabel 20 kV[8], analisis panas pada kabel bawah laut[9], distribusi tegangan pada kabel bawah tanah[10], intensitas medan magnet di sekitar jaringan distribusi 20 kV[11], persebaran medan listrik pada GIS[12], dan lainnya.

Pada artikel ini akan dibahas persebaran kuat medan listrik menggunakan FEMM 4.2 pada kabel tegangan menengah 20 kV yang disambung dengan teknik *exothermic welding* yang memanfaatkan reaksi kimia dari suatu bubuk logam. Ada 3 kondisi yang disimulasikan yaitu kondisi akhir sambungan yang sempurna tanpa penebalan, kondisi tidak sempurna dengan penebalan 0,5 mm, dan kondisi tidak sempurna dengan penebalan 1 mm. Data persebaran medan listrik yang diperoleh dapat menjadi acuan dalam menganalisis *breakdown* yang terjadi pada isolasi kabel dan menjadi acuan untuk menentukan toleransi penebalan pada akhir sambungan yang aman dan tidak akan menimbulkan *breakdown* pada kabel.

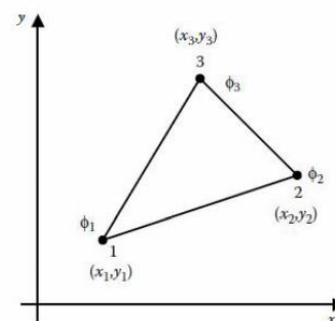
2. Metode

2.1 Finite Elemen Method

Metode elemen hingga adalah metode yang digunakan untuk memecahkan masalah diferensial. Untuk perhitungan dalam dua dimensi, elemen dapat dibentuk menjadi segitiga atau bentuk persegi Panjang. Ada empat langkah untuk menyelesaikan permasalahan medan listrik dengan metode elemen hingga [13][14], yaitu:

- 1) Membuat diskrit elemen hingga
- 2) membuat persamaan matriks untuk setiap elemen
- 3) Merangkai elemen matriks untuk setiap *node* menjadi matriks sistem persamaan
- 4) menyelesaikan persamaan matriks untuk mendapatkan parameter masing-masing *node*

Domain harus dibagi menjadi sub domain untuk menerapkan metode FEM. Bentuk elemen hingga yang paling sederhana adalah bentuk segi tiga. Bentuk ini dapat dilihat pada Gambar 1. Bentuk segi tiga biasanya digunakan untuk mendiskritkan domain dalam dua dimensi (2D).



Gambar 1. Elemen segitiga [14]

2.2 Exothermic Welding

Pengelasan *exothermic* [15] adalah proses pengelasan yang memanfaatkan reaksi eksotermik (reaksi kimia yang melepaskan energi dalam bentuk suhu yang sangat tinggi dan cahaya) secara permanen untuk menggabungkan dua jenis logam. Pengelasan eksotermik menggunakan cetakan dari bahan grafit ringan, sehingga cetakan las tersebut aman untuk dioperasikan. Reaksi eksotermik yang terjadi menciptakan miniatur tungku dengan suhu melebihi 2500⁰F dan secara langsung akan memproduksi gas cair yang mengalir ke dalam rongga pengelasan, mengisi setiap ruang yang tersedia dimana konduktor tersebut dan digabungkan dalam cetakan. Setelah menunggu beberapa saat proses pengelasan, cetakan dapat dilepaskan dan sisa sambungan yang tidak dipakai dapat dihilangkan.

Pengelasan eksotermik menciptakan sambungan permanen, bersifat *homogeny*, molekul ikatan yang dapat berkarat, dan akan membawa lebih banyak dalam konduktor. Sambungan melalui pengelasan eksotermik menghasilkan ikatan molekul yang *solid*, ikatan tersebut tidak akan mengendur atau menimbulkan korosi selama penyambungan dan hasilnya tidak dapat dicapai melalui metode lain seperti mematri, menggunakan baut sambungan, atau sambungan kabel dengan kompresi.

Pengelasan eksotermik bergantung terhadap logam dan material reaktan yang digunakan. Reaktan biasanya disediakan dalam bentuk bubuk, dengan reaksi dipicu menggunakan percikan dari batu api ringan. Energi aktivasi untuk reaksi ini sangat tinggi dan inisiasi memerlukan penggunaan bahan “*booster*” seperti magnesium.

Dalam proses pengelasan eksotermis, salah satu bubuk logam yang digunakan antara lain aluminium. Serbuk aluminium tersebut akan mengurangi oksidasi pada logam yang lain (dalam hal ini logam tembaga pada konduktor) dan menghasilkan panas karena sifat aluminium yang sangat reaktif. Berikut merupakan reaksi kimia pada proses pengelasan eksotermik:

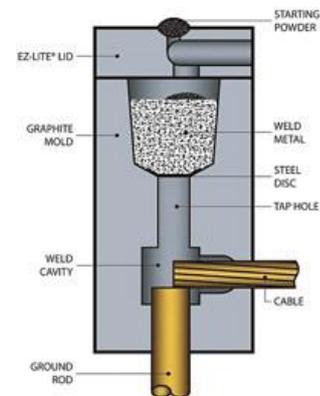


Produk yang dihasilkan melalui reaksi kimia diatas adalah aluminium oksida, logam besi, dan panas. Reaktan bubuk akan dicampur dengan pengikat untuk menjaga bahan tetap padat dan mencegah pemisahan. Ilustrasi proses *exothermic welding* dapat dilihat pada Gambar 2.

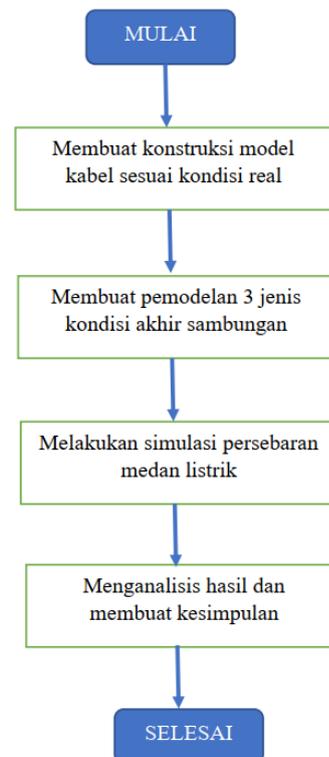
Biasanya komposisi reaktan adalah 5 bagian oksida besi merah (karat) bubuk dan 3 bagian bubuk aluminium, dan dinyalakan pada suhu tinggi. Reaksi kimia tersebut akan menghasilkan panas eksotermik (panas yang tinggi) yang terjadi melalui proses oksidasi sehingga menghasilkan massa besi putih panas dan sisa dari bahan aluminium oksida. Besi cair merupakan bahan pengelasan yang sebenarnya; aluminium oksida jauh lebih padat daripada besi cair dan akan mengapung ke atas reaksi, sehingga persiapan dalam pengelasan harus dipahami bahwa logam cair berada di bawah wadah.

Dari beberapa penjelasan diatas, beberapa keunggulan dari pengelasan eksotermik adalah:

- 1) Memiliki konduktivitas listrik lebih unggul daripada konduktor sendiri.
- 2) Tidak menimbulkan korosi oksida atau menurunkan waktu ketahanan terhadap kopleng galvanik.
- 3) Mampu menahan discharge listrik berulang ulang.
- 4) Tidak meningkatkan nilai resistansinya.
- 5) Memiliki kekuatan mekanik lebih tinggi dan mempertahankan nilai tahanannya dibanding konduktor sendiri.
- 6) Menghasilkan pengelasan permanen dan hubungan yang memiliki nilai resistansi yang rendah, sehingga sangat berguna dalam menjaga nilai pembumian
- 7) Menjamin kehandalan sambungan tidak hanya antara kabel tembaga, tetapi juga untuk sambungan isolasi, material pembantu sambungan lain yang terbuat dari potongan-potongan logam kuningan, *stainless steel*, dan batang tembaga bumi baja yang dilapisi



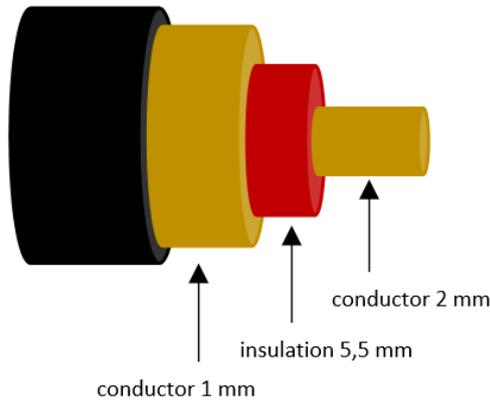
Gambar 2. Proses *exothermic welding*[15]



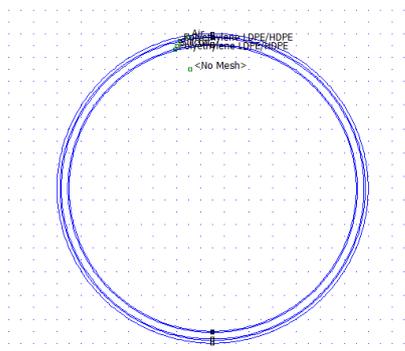
Gambar 3. Flowchart Tahapan Penelitian

2.3 Pemodelan dan Simulasi

Langkah-langkah dalam penelitian ini dijelaskan dalam *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 3. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengubah bentuk fisik kabel tegangan menengah kedalam gambar untuk mendapatkan konstruksi model yang akan digunakan dalam simulasi. Kabel tegangan menengah yang digunakan dalam penelitian ini adalah kabel dengan diameter total penampang sebesar 240 mm, material konduktor berupa tembaga, isolator *silicon*, dan bekerja pada suhu ambient 30 °C. Gambar bentuk dan ukuran detail dari kabel ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Konstruksi model kabel



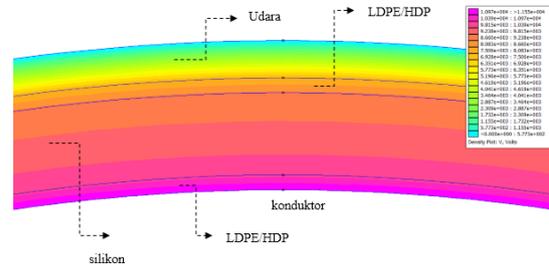
Gambar 5. Potongan melintang kabel

Kemudian digunakan *software* FEMM 4.2. untuk membuat model dan ukuran yang sama dengan konstruksi yang dikehendaki, agar simulasi dapat menunjukkan hasil yang akurat dalam analisis *exothermic welding*. Pada Gambar 5. menunjukkan potongan melintang dari kabel yang dimodelkan.

Langkah selanjutnya yaitu membuat pemodelan 3 jenis kondisi akhir setelah proses penyambungan yaitu keadaan *jointing welding* sempurna (tanpa penebalan) pada penampang kabel, *jointing welding* tidak sempurna (penebalan 0,5 mm) pada penampang kabel, dan keadaan *jointing welding* tidak sempurna (penebalan 1 mm). Pemodelan untuk 3 keadaan tersebut ditunjukkan dalam tabel 1.

Ketiga model ini kemudian digunakan dalam simulasi. Simulasi dilakukan untuk mengetahui persebaran medan

listrik disekitar titik sambungan. Sebelum melakukan simulasi pada kondisi ketiga pemodelan diatas, sebagai nilai referensi atau perbandingan dilakukan simulasi pada kondisi sebelum dilakukan *jointing*. Pada keadaan dimana sebelum *jointing*, persebaran medan listrik ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kerapatan medan listrik sebelum proses jointing

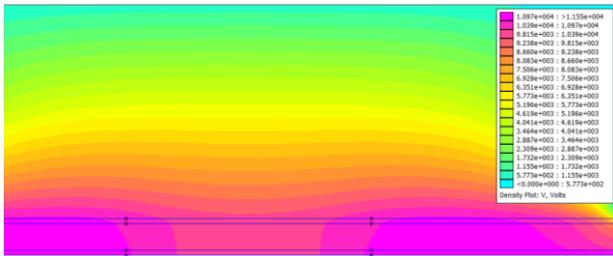
Tabel 1. Gambar Pemodelan Kabel pada 3 kondisi akhir sambungan

Kondisi/keadaan	Pemodelan pada FEMM 4.2
<i>Jointing welding</i> sempurna	
<i>Jointing welding</i> tidak sempurna (penebalan 0,5 mm) pada penampang kabel	
<i>Jointing welding</i> tidak sempurna (penebalan 1 mm) pada penampang kabel	

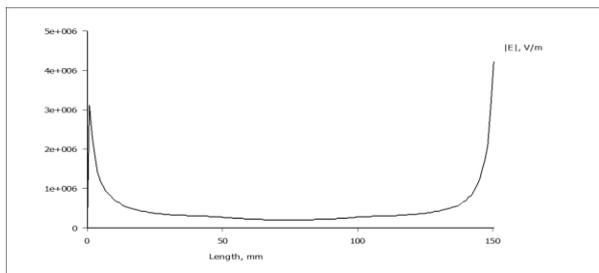
3. Hasil dan Pembahasan

Pada analisis *exothermic welding* sempurna, distribusi medan listrik ditunjukkan pada Gambar 7, dalam keadaan ini tidak ada penebalan konduktor akibat proses pengelasan (diameter konduktor tetap). Pada gambar menunjukkan bahwa pada isolator yang berdekatan dengan konduktor dan pada ujung kabel memiliki intensitas medan listrik yang lebih tinggi (ditunjukkan oleh warna ungu) daripada pada titik lain dan semakin turun menuju lapisan terluar (ditunjukkan dengan warna hijau). Persebaran medan listrik pada kondisi *jointing* sempurna menyerupai persebaran medan listrik sebelum dilakukan *jointing*. Hari ini terjadi

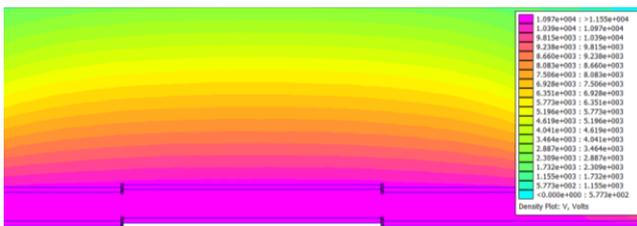
karena pada proses *jointing* sempurna ukuran konduktor tetap/sama sehingga tidak ada perubahan jika dibandingkan dengan kondisi sebelum *jointing*.



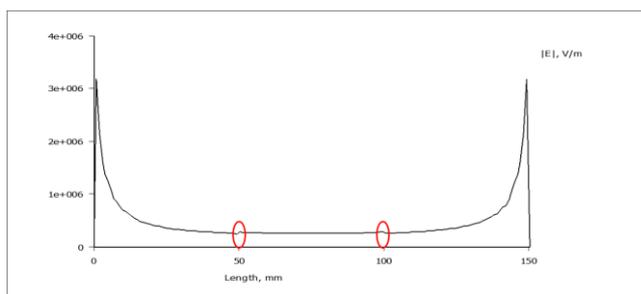
Gambar 7. Persebaran Medan Listrik *Jointing* Sempurna



Gambar 8. Intensitas Medan Listrik (V/m) terhadap jarak (mm)



Gambar 9. Persebaran Medan Listrik *Jointing* Tidak Sempurna (penebalan 0,5 mm)



Gambar 10. Intensitas Medan Listrik terhadap Jarak

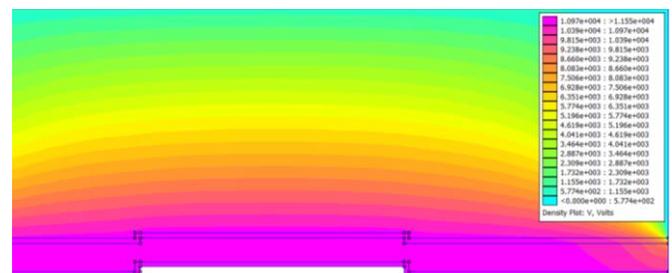
Pada Gambar 8 menunjukkan grafik perbandingan nilai medan listrik terhadap jarak. Titik sambungan di modelkan pada panjang kabel 50 mm sampai 100 mm. Pada grafik di atas terlihat bahwa persebaran medan listrik dari jarak 50 mm sampai 100 mm persebarannya merata konstan di nilai yang sama.

Pada analisis *exothermic welding* tidak sempurna, distribusi medan listrik ditunjukkan pada Gambar 9 dalam keadaan ini ada penebalan konduktor akibat proses pengelasan setebal 0,5 mm. Adanya penebalan ini akibat dari kegagalan proses pengelasan, hal ini akan mempengaruhi grafik intensitas medan listrik pada ujung

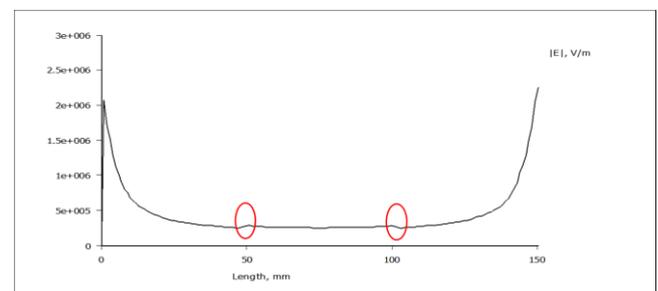
titik awal dan akhir penebalan tersebut yang dapat ditunjukkan pada Gambar 10.

Pada grafik yang ditunjukkan Gambar 10. terlihat terjadi lonjakan medan listrik pada titik awal dan akhir penebalan, yaitu pada titik 50 mm dan 100 mm. Lonjakan di awal dan di akhir sambungan ini menandakan ketidakseragaman nilai medan listrik dalam kabel. Kenaikan nilai medan listrik pada penebalan 0,5 mm masih belum cukup besar akan tetapi tidak menjamin tidak akan terjadinya losses pada isolator kabel. Karena proses breakdown pada isolator padat berlangsung secara perlahan yang salah satu pemicunya adalah adanya ketidakseragaman medan listrik.

Pada analisis *exothermic welding* tidak sempurna lainnya, dalam keadaan ini ada penebalan konduktor akibat proses pengelasan (1 mm) distribusi medan listrik ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Persebaran Medan Listrik *Jointing* Tidak Sempurna (penebalan 1 mm)



Gambar 12. Intensitas Medan Listrik terhadap Jarak

Pada grafik yang ditunjukkan Gambar 12 lonjakan medan listrik yang terjadi menjadi lebih besar daripada sebelumnya (Gambar 9.). Kenaikan medan listrik ini berbanding lurus dengan besarnya penebalan akibat sambungan yang tidak sempurna. Jika dibandingkan dengan grafik sebelumnya yang hanya terjadi lonjakan di titik 50 mm dan 100 mm, pada grafik Gambar 11. Ini kenaikan medan listrik terjadi lebih ke kiri dari titik 50 mm dan lebih ke kanan dari titik 100 mm. Hal ini berarti persebaran medan listrik pada pemodelan 3 merupakan contoh persebaran yang tidak baik untuk kabel. Pada titik dimana kenaikan medan listrik sangat signifikan seperti pada kasus ini dimungkinkan akan terjadi *losses*.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada 3 kondisi akhir dari proses *jointing* pada kabel tegangan menengah diperoleh hasil bahwa pada proses *jointing* sempurna dimana tidak ada penebalan kabel pada akhir proses

sambungan, medan listrik di sekitar sambungan kabel persebarannya merata dan menyerupai persebaran medan listrik sebelum dilakukan *jointing*. Sedangkan pada 2 model lainnya yang mengalami penebalan 0,5 dan 1 mm pada kabel akibat sambungan, persebaran medan listrik nya tidak merata. Terjadi kenaikan medan listrik pada titik awal dan akhir sambungan yang menyebabkan persebaran medan listrik tidak merata. Kenaikan medan listrik yang terjadi pada kondisi penebalan 1 mm lebih besar daripada kenaikan medan listrik pada penebalan 0,5 mm.

Besarnya penebalan sambungan pada kabel akibat proses sambungan yang tidak sempurna berbanding lurus dengan kenaikan medan listrik di sekitar sambungan kabel dan juga berbanding lurus dengan besarnya *losses* yang akan dihasilkan. *Losses* ini yang merupakan awal dari terjadinya *breakdown* pada kabel yang dapat menimbulkan gangguan. Penelitian selanjutnya diperlukan untuk mengetahui batas penebalan maksimum yang dapat ditoleransi oleh kabel sehingga *losses* yang dihasilkan tidak begitu mengganggu pada sistem. Pengaruh medan listrik yang tidak merata dibandingkan dengan waktu operasi kabel bisa diteliti lebih lanjut setelah penelitian ini untuk melihat hubungan antara *breakdown* isolasi kabel terhadap masa pakai/umur kabel.

Daftar Pustaka

- [1] A. P. S. I. Haryudo, "Studi Analisis Kerugian Daya Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Penyulang Modo Area Bojonegoro Menggunakan Software ETAP 12.6," *J. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 277–284, 2019.
- [2] R. MAULIDITHA, Simulasi Load Flow Analysis Pada Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20kv Melalui 2 Penyulang Berbasis Software ETAP 12.6. Jakarta: Skripsi. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Negeri Jakarta., 2016.
- [3] J. L. Yuan Zhou, Xiaofeng Zhao; Xiaolong Cui; Ruixiong Yang, "Transient Analysis and Simulation of a Single-Phase Grounding Fault in 20kV Small Resistance Grounding System," *3rd Int. Electr. Energy Conf.*, 2019.
- [4] Nurmiati Pasra; Andi Makkulau; Muhamamd Hasil Adnan, "Gangguan Yang Terjadi Pada Sistem Jointing Pada Saluran Kabel Tegangan Menengah 20 KV," *J. Sutet*, vol. 8, no. 1, 2018.
- [5] H. and D. Warne, *Advances in High Voltage Engineering*. The Institution of Electrical Engineers, 2004.
- [6] A. Sofwandana and S. A. Kusuma, "Pendeteksian Dini Terhadap Arus Bocor Kabel Tanah Tegangan Menengah Pada Transformator 150 / 20kV," *Sinusoida*, vol. XX, no. 2, pp. 69–71, 2018.
- [7] V. Rachwawati, "Simulasi Perpindahan Panas Pada Lapisan Tengah Pelat Menggunakan Metode Elemen Hingga," vol. 4, no. 2, p. 94, 2015, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/70992/>.
- [8] A. Rifai, *Distribusi Panas Sekitar Kabel 20 Kv Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Tanjungpura Pontianak., 2018.
- [9] Y. P. Sijabat, Analisis Termal Terhadap Kabel Bawah Tanah Pada Saluran Distribusi 20 Kv Menggunakan Finite Element Method Untuk Mengetahui Pengaruh Kondisi Termal Terhadap Ampacity Kabel. 2017.
- [10] J. P. SIJABAT, *Simulasi Distribusi Potensial Dan Medan Listrik Pada*. Skripsi. Program Studi Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak, 2020.
- [11] Rikha Adhika Setiyanto; Sudarti; Alex Harijanto, "Analisis Intensitas Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) Di Sekitar Jaringan Distribusi PLN 20 KV," 2017.
- [12] Saepul Rahmat; Riyani Prima Dewi, "Distribusi medan listrik di kompartemen busbar gas insulated switchgear (gis) menggunakan charge simulation method (csm)," vol. 01, no. 2, pp. 47–52, 2020.
- [13] S. Hidayat, F. Damanik, and U. Khayam, "Electric field optimization on 150 kV GIS spacer by modification of spacer shape and conductor configuration," *3rd IEEE Conf. Power Eng. Renew. Energy, ICPERE 2016*, pp. 225–230, 2017, doi: 10.1109/ICPERE.2016.7904876.
- [14] S. Chakravorti, "Electric Field Analysis," *CRC Press, Boca Raton*. 2015.
- [15] Bambang Trisno, *Diktat Mata Kuliah Kabel dan Teknik Penyambungan*. Bandung: Teknik Elektro UPI.