

ANALISIS SIFAT HIDROFOBİK PERMUKAAN HDPE BERDASARKAN NILAI *TOTAL HARMONIC DISTORTION*

Abdul Syakur¹, Hermawan², Sarjiya³, Hamzah Berahim⁴

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Soedarto SH Tembalang Semarang 50275, Telp. 024-7460057

^{3,4} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281, Telp. 0274 – 879505
e-mail : gakusei2003@yahoo.com

Abstract

Polymer material has been developed to replace the porcelain insulator material and glass. When it is used as outdoor insulator, environmental conditions have a significant influence to the value of surface discharge current, especially for the coastal area and industry. Salt, dust and chemicals contaminant are suspected as the causes of initial current of surface discharge and the insulator surface degradation which lead to a flashover. To analyze the performance of the insulator surface when the leakage current occurs, the Total Harmonic Distortion (THD) is needed to be determined. The value of THD leakage current indicates the hydrophobic characteristic of surface material. This paper analyzes the results of leakage current measurement in laboratory-scale based on IEC 587:1986 with Inclined-Plane Tracking (IPT) method to the High Density Polyethylene (HDPE) polymer material which is provided in smooth and rough surface. The testing voltage is 50 Hz AC. Data of leakage current magnitude values cover its maximum average as a function of time and the result of FFT to the wave form of the leakage current. As the result, the value of percentage THD decrease as the function of time. The smooth surface material has THD value 43.42% and the rough surface has 15.89%.

Keywords: Leakage current, HDPE, IPT, THD

Abstrak

Material polimer saat ini dikembangkan sebagai pengganti material isolator porselen dan gelas. Ketika suatu materi dipakai sebagai isolator pasangan luar, maka kondisi lingkungan berpengaruh signifikan terhadap nilai arus bocor permukaan khususnya di daerah pantai dan industri. Kontaminan garam, debu dan bahan kimia diduga penyebab awal terjadinya arus bocor permukaan isolator dan degradasi permukaan isolator yang akhirnya menimbulkan flashover. Untuk menganalisis unjuk kerja permukaan isolator ketika terjadi arus bocor digunakan nilai Total Harmonic Distortion (THD). Nilai THD arus bocor diperlukan untuk mengetahui sifat hidrofobik permukaan material. Makalah ini menganalisis hasil pengukuran arus bocor dalam skala laboratorium berdasarkan standar IEC 587:1986 dengan metode Inclined-Plane Tracking (IPT) pada material polimer High Density Polyethylene (HDPE) dengan kondisi permukaan halus dan kasar. Tegangan uji adalah tegangan AC 50 Hz. Data arus bocor meliputi nilai magnitude maksimal rata-rata arus bocor sebagai fungsi waktu dan hasil proses FFT terhadap gelombang arus bocor untuk mengetahui nilai THDnya. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa nilai % THD sebagai fungsi waktu cenderung menurun. Permukaan material halus bersifat hidrofobik dengan nilai THD sebesar 43,42% sedangkan material dengan permukaan kasar memiliki nilai 15,89%.

Kata kunci: arus bocor, HDPE, IPT, THD.

1. PENDAHULUAN

Dalam sistem tenaga listrik isolator memiliki peranan yang sangat penting untuk menunjang kelancaran penyaluran daya listrik dari pusat pembangkit menuju beban. Isolator berfungsi untuk memisahkan antara bagian bertegangan dengan ground dalam sistem tenaga listrik sehingga mencegah terjadinya hubung singkat fasa ke *ground*. Akhir-akhir ini telah terjadi

perubahan dan pengembangan material isolasi yang sangat cepat sebagai isolator pasangan luar untuk peralatan tegangan tinggi [1,2]. Munculnya material polimer dalam bahan isolasi tegangan tinggi telah dikembanguaskan dalam teknologi bahan isolasi, diantaranya adalah material polimer *High Density Polyethylene* (HDPE) yang sedang dikembangkan untuk mengganti material isolasi tradisional yang terbuat dari porselin dan kaca. Pengembangan rancangan dan pembuatan material isolasi polimer dimasa sekarang menjadikan isolasi polimer menjadi lebih baik karena isolator polimer memiliki rasio *strength-to-weight* yang lebih besar dari pada porselin sehingga dapat menurunkan biaya pembuatan.

Akhir - akhir ini telah terjadi perubahan dan pengembangan material isolasi yang sangat cepat sebagai isolator pasangan luar untuk peralatan tegangan tinggi. Munculnya material polimer dalam bahan isolasi tegangan tinggi telah dikembanguaskan dalam teknologi bahan isolasi, diantaranya adalah material polimer *High Density Polyethylene* (HDPE) yang sedang dikembangkan untuk mengganti material isolasi tradisional yang terbuat dari porselin dan kaca. Pengembangan rancangan dan pembuatan material isolasi polimer dimasa sekarang menjadikan isolasi polimer menjadi lebih baik karena isolator polimer memiliki rasio *strength-to-weight* yang lebih besar dari pada porselin sehingga dapat menurunkan biaya pembuatan.

Dalam operasinya sebagai isolator pasangan luar khususnya di daerah pantai dan industri, kondisi lingkungan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja material isolasi. Adanya kontaminan garam, debu dan bahan kimia di udara dapat menempel pada permukaan material isolasi pasangan luar dan mengendap sehingga dapat terjadi kristalisasi yang menyebabkan bertambahnya kekasaran permukaan material isolasi. Iklim tropis di Indonesia yang memiliki curah hujan tinggi juga dapat mempengaruhi kinerja isolator pasangan luar. Saat terjadi hujan larutan kontaminan dapat membentuk jalur konduktif sehingga menyebabkan *Leakage Current* (LC) atau arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator tersebut. Adanya arus bocor merupakan peristiwa awal yang dapat mengakibatkan degradasi permukaan isolator. Dengan adanya jalur yang mengalirkan arus, maka di permukaan isolator akan timbul panas yang justru akan mengeringkan polutan yang menempel pada permukaan isolator tersebut. Dari peristiwa tersebut timbullah alur dipermukaan isolator yang disebut pita kering atau *dryband*. *Dryband* sangat potensial untuk menampung polutan lebih banyak lagi tertimbun di permukaan isolator. Adanya *dryband* memicu terjadinya pelepasan muatan ke udara dikarenakan distribusi medan listrik pada *dryband* lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya. Jika formasi *dryband* semakin meluas di permukaan isolator maka lama-kelamaan dapat menyebabkan terjadinya *flashover* yang merupakan suatu kegagalan dari sebuah isolator [1-5]. Dari uraian singkat mengenai fenomena arus bocor dan akibat yang ditimbulkannya di atas malatarbelakangi pentingnya dilakukan penelitian mengenai arus bocor di laboratorium pada permukaan isolator, khususnya pada material isolasi polimer HDPE.

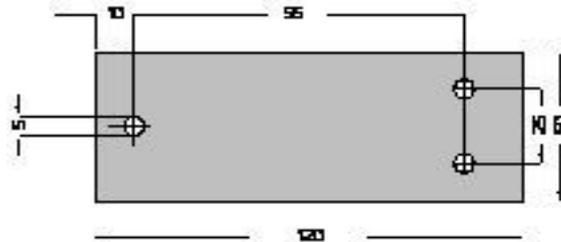
Dalam upaya melakukan penelitian terhadap arus bocor pada permukaan isolator di Laboratorium, ada beberapa metode penelitian telah dikembangkan oleh lembaga internasional seperti IEC (*International Electrotechnical Commission*). Salah satu metode yang telah di publikasikan IEC adalah metode IPT (*Incleaned Plane Tracking*) yang diatur dalam IEC 587:1986[6]. Dalam metode IPT ini sampel material isolasi dengan ukuran tertentu diposisikan dengan sudut 45° dan diberikan cairan larutan kontaminan buatan dengan aliran tertentu sehingga metode ini sangat cocok untuk merepresentasikan keadaan isolator pasangan luar di Indonesia yang memiliki curah hujan yang tinggi.

Faktor utama yang mempengaruhi unjuk kerja material isolasi polimer adalah sifat menolak air atau hidrofobik. Kenyataan di lapangan, isolator yang berada di daerah dengan tingkat polusi tinggi dapat terjadi kristalisasi polutan pada permukaan isolator sehingga permukaan isolator tersebut menjadi bertambah kasar [1,2]. Tingkat kekasaran permukaan karena adanya kristalisasi dari polutan dapat mempengaruhi sifat hidrofobik material. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran skala laboratorium dan analisis arus bocor untuk kekasaran permukaan yang berbeda sehingga diketahui pengaruh kekasaran permukaan terhadap unjuk kerja permukaan material pada daerah terpolusi. Metode IPT merupakan metode yang paling tepat dipilih untuk mengetahui sifat hidrofobik permukaan material karena permukaan material akan diuji dengan posisi yang dimiringkan dan diberi tetesan kontaminan [6]. Permukaan yang bersifat hidrofobik akan semakin sulit terbentuk jalur konduksi yang kontinyu dikarenakan tetesan kontaminan lebih sulit menempel pada permukaan material isolasi Dengan menggunakan parameter THD arus bocor yang mengalir dapat ditentukan sifat hidrofobik material isolasi yang terkontaminasi.

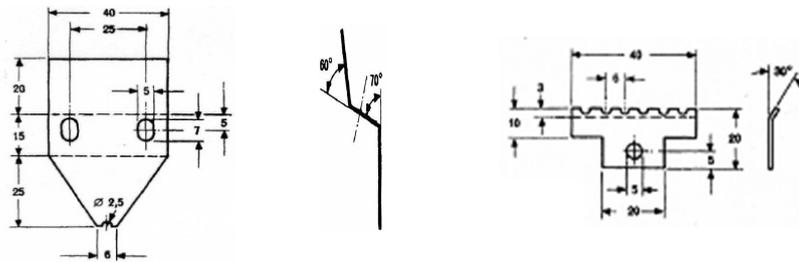
2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

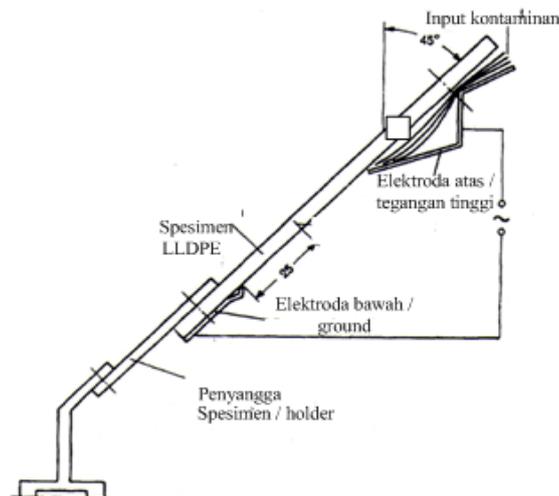
Sampel HDPE yang digunakan pada penelitian ini memiliki dimensi ukuran panjang 120 mm, lebar 50 mm dan tebal 6 mm (IEC 587:1984) seperti ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan elektroda yang digunakan terbuat dari stainless dengan ketebalan 0,5 mm sesuai dengan standar IEC 587:1984 dan pemasangan elektroda pada material ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Ukuran material HDPE yang digunakan [6].



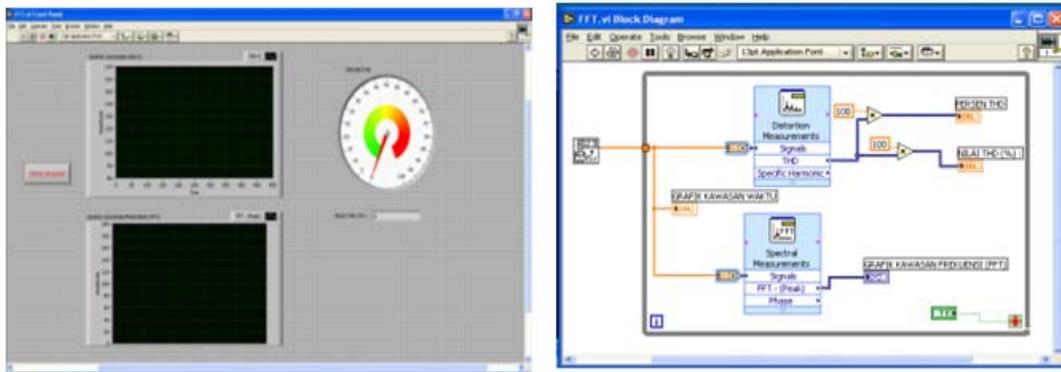
Gambar 2. Bentuk elektroda tegangan tinggi dan elektroda *ground* [6].



Gambar 3. Pemasangan elektroda pada material [6].

2.2. Perancangan perangkat lunak

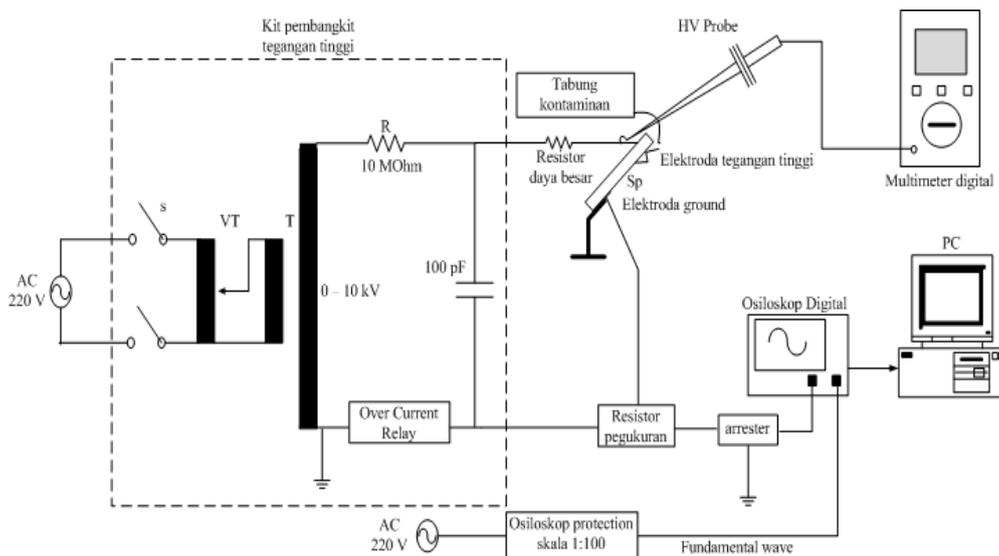
Perangkat lunak atau *software* yang digunakan dalam proses analisa dan perhitungan adalah program Labview 7.1. Program Labview memiliki dua bagian utama yaitu block diagram dan front panel seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Front panel dan block diagram pada Labview 7.1 [7]

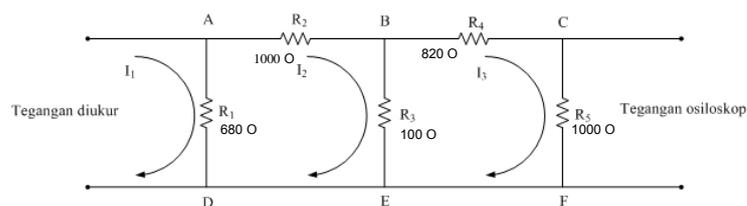
2.3. Rangkaian Pengukuran dan Akuisisi Data

Gambar 5 menunjukkan sistem pengukuran arus bocor menggunakan metode *Inclined Plane Tracking* (IPT).



Gambar 5. Rangkaian sistem pengukuran arus bocor [1, 2, 6].

Arus bocor dideteksi dengan rangkaian resistor seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Melalui proses perhitungan didapatkan $I_1 = 0,02857 V_{CF}$

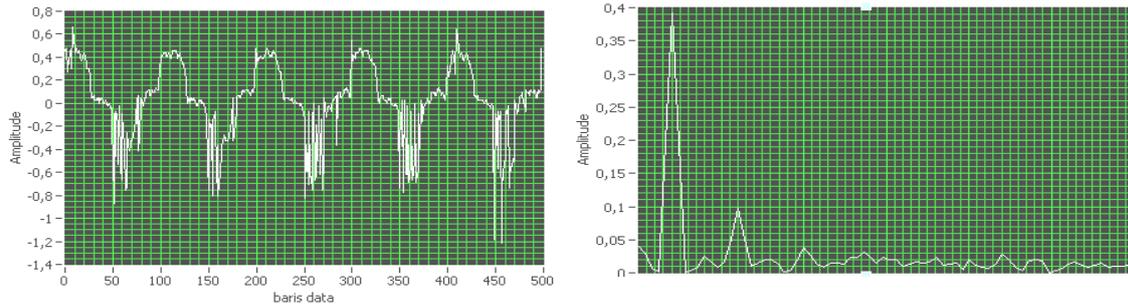


Gambar 6. Rangkaian resistor pengukuran arus bocor [8].

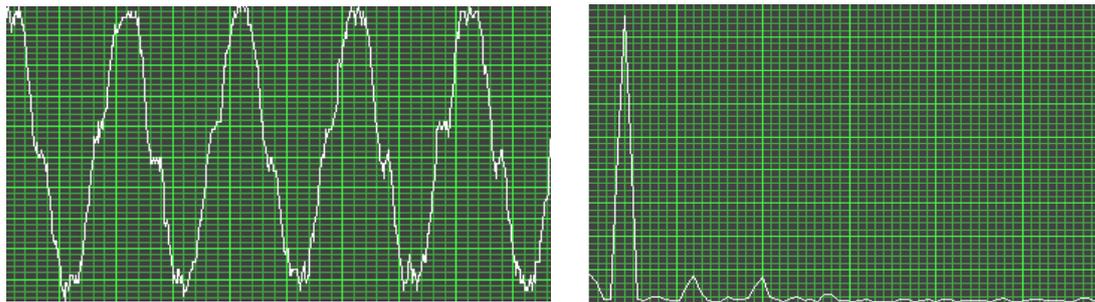
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis bentuk gelombang dan nilai THD arus bocor sebagai fungsi waktu

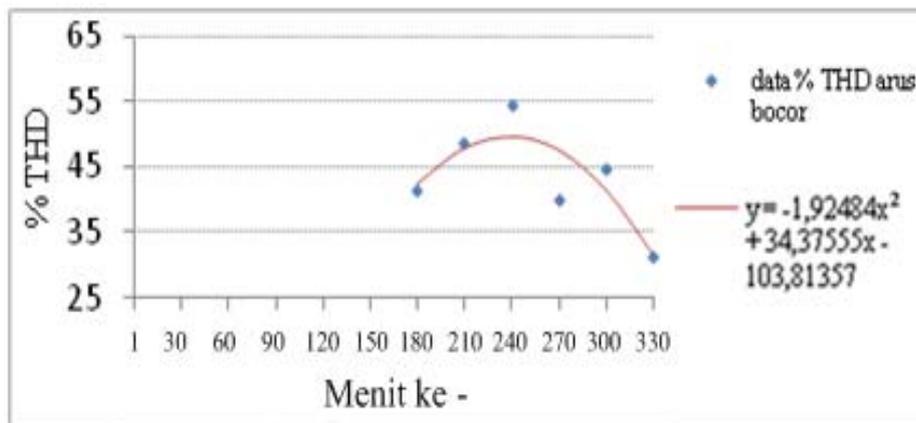
Untuk 12 kali pencuplikan data yang dilakukan setiap 30 menit diambil satu data mewakili tiap pencuplikan untuk dilakukan perhitungan %THD. Bentuk dan spektrum harmonik arus bocor tegangan terapan 2,5 kV untuk material HDPE permukaan halus dan kasar berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8. Berdasarkan Gambar 7, dapat dilihat bahwa harmonisa ke-1 (fundamental), 2, 3 dan 4 berturut-turut adalah 0,390982, 0,025815, 0,09757, 0,023377 mA dan %THD-nya = 31,3798 %. Sedangkan berdasarkan Gambar 8 terlihat bahwa harmonisa ke-1, 2, 3 dan 4 berturut-turut adalah 0,432359, 0,009993, 0,042216, 0,009493 mA dan %THD = 14,6532 %.



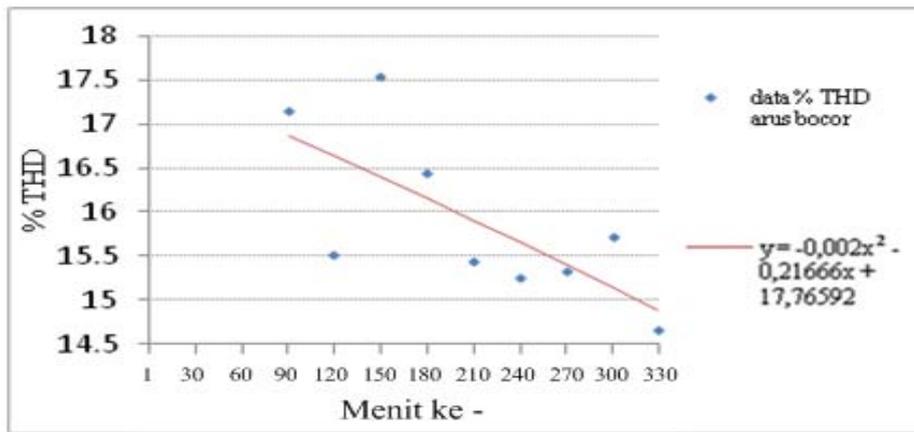
Gambar 7. Bentuk dan spektrum harmonik arus bocor tegangan terapan 2,5 kV untuk material HDPE permukaan halus.



Gambar 8. Bentuk dan spektrum harmonik arus bocor tegangan terapan 2,5 kV untuk material HDPE permukaan kasar.

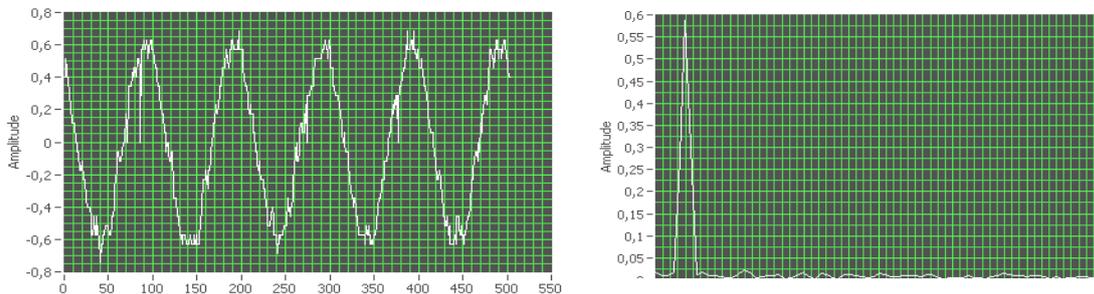


Gambar 9. Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 2,5 kV material HDPE permukaan halus.

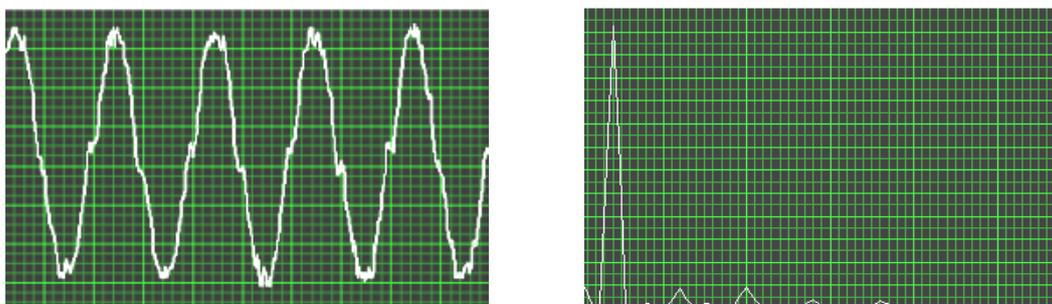


Gambar 10. Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 2,5 kV material HDPE permukaan kasar.

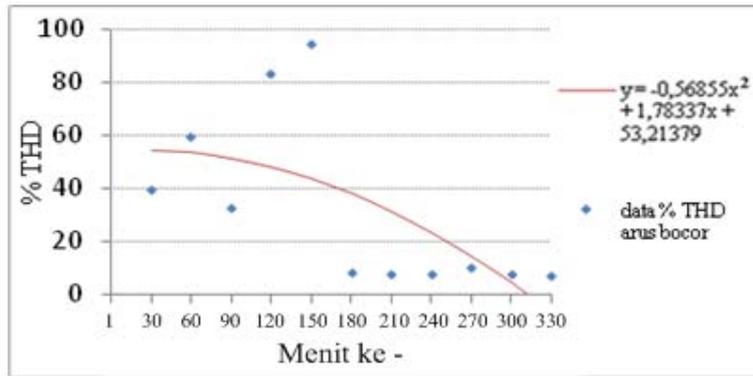
Bentuk dan spektrum harmonik arus bocor tegangan terapan 3,5 kV untuk material HDPE permukaan halus dan kasar berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12. Berdasarkan Gambar 11, dapat dilihat bahwa bahwa harmonisa ke-1 (fundamental), 2, dan 3 berturut-turut adalah 0,566849, 0,016437, 0,019119 mA dan %THD-nya = 8,36192%. Sedangkan berdasarkan Gambar 12 terlihat bahwa harmonisa ke-1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 0,613195, 0,011539, 0,042568 mA dan %THD = 11,5297%.



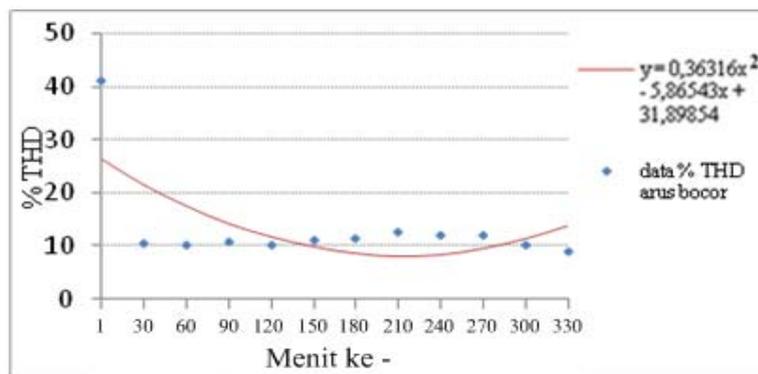
Gambar 11. Bentuk dan spektrum harmonik arus bocor tegangan terapan 3,5 kV untuk material HDPE permukaan halus.



Gambar 12. Bentuk dan spektrum harmonik arus bocor tegangan terapan 3,5 kV untuk material HDPE permukaan kasar.

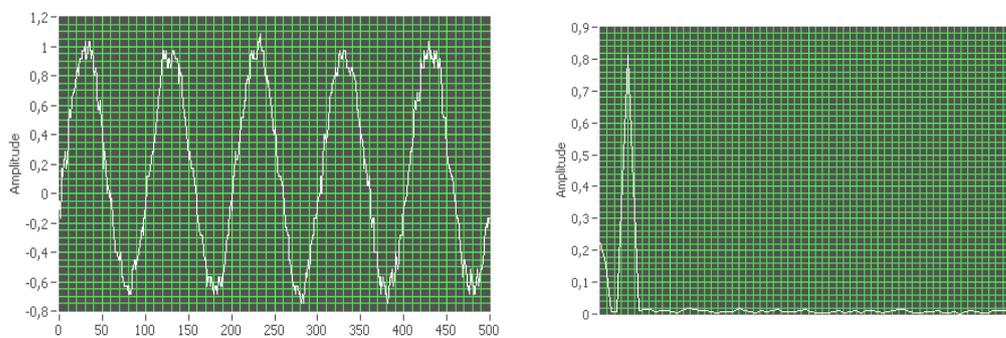


Gambar 13. Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 3,5 kV material HDPE permukaan halus.

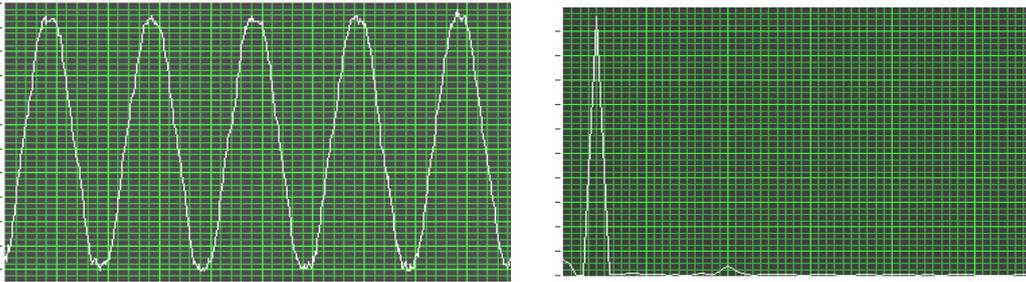


Gambar 14. Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 3,5 kV material HDPE permukaan kasar.

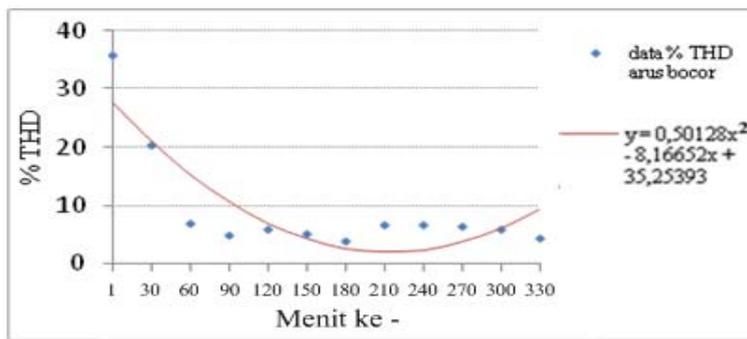
Bentuk dan spektrum harmonik arus bocor tegangan terapan 4,5 kV untuk material HDPE permukaan halus dan kasar berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 15 dan 16. Berdasarkan Gambar 15, dapat dilihat bahwa bahwa harmonisa ke-1 (fundamental), 2, 3 dan 4 berturut-turut adalah 0,8109, 0,013662, 0,020658, 0,010923 mA dan %THD-nya = 5,3678%. Sedangkan berdasarkan Gambar 16 terlihat bahwa harmonisa ke-1, 2, 3 dan 4 berturut-turut adalah 1,059721, 0,010059, 0,006569, 0,006012, mA dan %THD = 4,4255%.



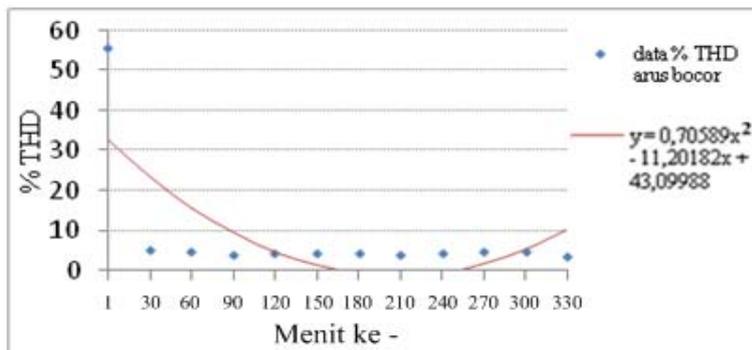
Gambar 15. Bentuk dan spektrum harmonik arus tegangan terapan 4,5 kV untuk material HDPE permukaan halus.



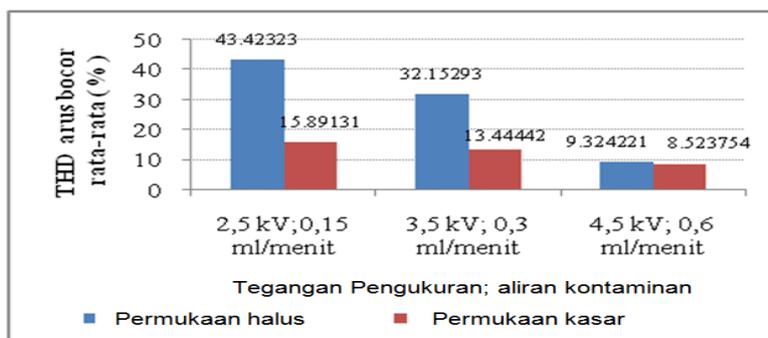
Gambar 16. Bentuk dan spektrum harmonik arus tegangan terapan 4,5 kV untuk material HDPE permukaan kasar.



Gambar 17. Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 4,5 kv material HDPE permukaan halus.



Gambar 18. Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 4,5 kv material HDPE permukaan kasar.



Gambar 19. Perbandingan THD arus bocor pada permukaan HDPE permukaan halus dan permukaan kasar.

Berdasarkan grafik %THD sebagai fungsi waktu yang ditunjukkan pada Gambar 9,10, 13, 14, 17 dan 18 menunjukkan nilai % THD cenderung menurun. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut : pada saat awal pengukuran, aliran kontaminan mulai membasahi sebagian permukaan material secara acak sehingga membentuk jalur konduksi yang tidak kontinu berupa *droplet*. Peristiwa pembasahan permukaan material isolasi yang berkelanjutan meningkatkan densitas *droplet* sehingga menurunkan jarak antar *droplet*. Interaksi antara *droplet* dan medan listrik bolak-balik menghasilkan sebuah gaya osilasi yang menyebabkan *droplet* menjadi semakin panjang dan semakin merata dipermukaan material isolasi. Jika jarak antar *droplet* semakin dekat maka *droplet* yang berdekatan akan menyatu membentuk sebuah filamen. Filamen-filamen ini terbentuk secara acak diseluruh permukaan material isolasi. Proses koagulasi atau penggumpalan dari filamen dapat membentuk *wet region*. Meningkatnya panjang filamen dan formasi dari *wet region* pada akhirnya akan menyebabkan jalur bocor (*leakage path*) yang merupakan sebuah jalur konduktif elektrolit. Jalur konduktif elektrolit ini merupakan representasi penambahan panjang elektroda. Semakin bertambahnya waktu, formasi *wet region* semakin meluas sehingga seolah memperpendek jarak antar elektroda. Adanya proses koagulasi akibat pemanasan yang terjadi dan aliran kontaminan yang kontinu menyebabkan densitas jalur konduktif elektrolit yang merupakan formasi dari *wet region* semakin besar. Akibatnya resistansinya semakin linear atau semakin seragam. Munculnya *wet region* dan pita kering atau *dryband* pada permukaan material menyebabkan berkurangnya sifat hidrofobik permukaan material, yaitu sifat menolak air (*water repellent*) dan semakin bersifat hidrofilik. Sehingga jalur konduktif elektrolit terbentuk pada permukaan material akan semakin seragam dan kontinu ditunjukkan dengan nilai %THD yang semakin menurun.

Grafik penurunan nilai THD terhadap fungsi waktu relatif berosilasi, hal ini dikarenakan saat permukaan material terbentuk *wet region* dan *dryband*, terjadi pelepasan muatan berupa peluahan-peluahan pulsa arus sesaat pada *dryband*, sedangkan pada *wet region* arus bocor yang mengalir berupa sinus terdistorsi. Kombinasi antara peluahan pulsa yang terjadi pada *dryband* dan arus pada *wet region* menyebabkan THD arus bocor permukaan material meningkat sesaat.

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan yang bisa didapat adalah sebagai berikut :

1. Nilai % THD gelombang arus bocor dapat digunakan untuk menganalisis sifat hidrofobik permukaan isolator polimer. Nilainya cenderung menurun terhadap fungsi waktu, yang berarti semakin bertambahnya waktu maka sifat hidrofobik permukaan material HDPE semakin menurun.
2. Nilai rata-rata %THD permukaan HDPE dengan kekasaran khusus lebih kecil dibandingkan permukaan HDPE tanpa kekasaran khusus untuk kondisi pengukuran yang sama, sehingga permukaan yang lebih kasar akan bersifat lebih hidrofilik atau menyerap air dibandingkan dengan permukaan yang halus.
3. Nilai rata-rata %THD arus bocor semakin kecil pada saat tegangan dan aliran kontaminan yang diterapkan semakin besar, hal ini menunjukkan bahwa penerapan medan listrik yang semakin besar di permukaan material akan semakin menurunkan sifat hidrofobik permukaan material tersebut

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M.A.M. Piah , A. Darus, and A. Hassan, "**Leakage Current and Surface Discharge Phenomena: Effect on Tracking and Morphological Properties of LLDPE-Natural Rubber Compounds**", Proceedings of the 7th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials June 1-5 2003 Nagoya.
- [2]. M.A.M Piah, "**Leakage Current and Surface Tracking characterization of new natural rubber-based material for High Voltage insulation**", Thesis IVAT, Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 2004.
- [3]. Waluyo, Parouli M. Pakpahan, Suwarno, and Maman A. Djauhari, "**Study on Leakage Current Waveforms of Porcelain Insulator due to Various Artificial Pollutants**",

- International Journal of Mathematical, Physical and Engineering Sciences Vol. 32, pp. 239-298, 2007.
- [4]. Melda Latief dan Suwarno, "**Unjuk kerja permukaan isolator pasangan luar polimer epoxy resin 20 kV pada berbagai kondisi lingkungan**", seminar nasional teknik ketenagalistrikan, 2005.
- [5]. George G. Karady., Shah, Minesh and Brown, R.L., "**Flashover mechanism of silicone rubber insulators used for outdoor insulation-I**", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.10, No.4, October 1995.
- [6]. BS 5604:1986, IEC 587:1984, "**Methods for Evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions**", British Standards Institution, British standard (BS).
- [7]. National Instrumentation, "**Introduction to LabVIEW 2009**", <http://www.ni.com/labview/>
- [8]. Berahim H, "**Metodologi untuk mengkaji kinerja isolasi polimer resin epoksi silane sebagai material isolator tegangan tinggi di daerah tropis**", Dessertasi Teknik Elektro, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta, 2005.