

# STUDI ARUS BOCOR DENGAN METODE PENGUKURAN *INCLINED-PLANE TRACKING* (IPT) PADA MATERIAL POLIMER *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE)

Rohmat Nugroho<sup>1</sup>, Abdul Syakur<sup>2</sup>, Hermawan<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang Semarang 50275

## ABSTRAK

*Sistem tenaga listrik yang baik harus didukung oleh sistem isolasi yang baik pula. Salah satu kriteria sistem isolasi yang baik adalah memiliki sifat hidrofobik atau sifat menolak air. Di daerah pantai dan industri kondisi lingkungan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja sebuah isolator. Adanya kontaminan garam dan bahan kimia di udara dapat menempel pada permukaan isolator pasangan luar dan menyebabkan terjadinya Leakage Current (LC) atau arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator tersebut. Adanya arus bocor merupakan peristiwa awal yang dapat mengakibatkan degradasi permukaan isolator yang lama-kelamaan menyebabkan kegagalan sebuah isolator.*

*Tugas akhir ini mempresentasikan hasil penelitian tentang pengukuran arus bocor skala laboratorium pada material isolasi polimer High Density Polyethylene (HDPE) yang berbeda tingkat kekasaran dengan metode pengukuran Inclined-Plane Tracking (IPT) menggunakan tegangan AC 50 Hz. Pengolahan data arus bocor meliputi nilai magnitude maksimal rata-rata arus bocor sebagai fungsi waktu dan melakukan proses FFT bentuk gelombang arus bocor menggunakan software bantu Labview 7.1 untuk mengetahui nilai THD arus bocor. Nilai THD arus bocor merupakan parameter untuk mengetahui sifat hidrofobik permukaan material. Untuk mengetahui kecenderungan data arus bocor digunakan metode pendekatan persamaan garis regresi kuadrat terkecil polinom orde 2.*

*Berdasarkan hasil pengukuran dan proses analisis menunjukkan bahwa magnituda dan bentuk gelombang dari arus bocor sangat dipengaruhi oleh kondisi kekasaran permukaan material dan besarnya aliran kontaminan, kecenderungan %THD sebagai fungsi waktu yang relatif menurun, serta permukaan material tanpa kekasaran khusus lebih bersifat hidrofobik dibandingkan dengan material dengan kekasaran khusus berdasarkan nilai % THD arus bocornya.*

*Kata kunci : arus bocor, HDPE, IPT, THD, Regresi Kuadrat Terkecil.*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di daerah pantai dan industri kondisi lingkungan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap unjuk kerja permukaan material isolasi pasangan luar. Adanya kontaminan garam dan bahan kimia di udara dapat menempel pada permukaan material isolasi dan menyebabkan terjadinya *Leakage Current* (LC) atau arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator tersebut. Adanya arus bocor merupakan peristiwa awal yang dapat mengakibatkan terjadinya *flashover* pada permukaan material isolasi yang lama-kelamaan menyebabkan kegagalan. Saat terjadi hujan, kontaminasi elektrolit di udara secara signifikan dapat larut dan membentuk jalur bocor dipermukaan material isolasi menyebabkan munculnya *surface discharges* dan arus bocor pada permukaan material. Semakin bertambahnya waktu, arus bocor menyebabkan degradasi atau penurunan kualitas permukaan material sehingga memicu terjadinya *flashover*. Oleh karena itu, pengukuran arus bocor dapat digunakan untuk mengetahui mekanisme terjadinya *flashover* pada permukaan material isolasi.

Faktor utama yang mempengaruhi performa material isolasi polimer adalah sifat menolak air atau hidrofobik. Tingkat kekasaran permukaan karena cacat atau ketidaksempurnaan dalam pembuatan dapat mempengaruhi sifat hidrofobik material. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran dan analisis arus bocor untuk kekasaran permukaan yang berbeda sehingga diketahui pengaruh kekasaran permukaan terhadap unjuk kerja permukaan material pada daerah terpolusi. Salah satu metode pengukuran arus bocor untuk merepresentasikan keadaan di lapangan adalah metode *inclined plane tracking* yang diatur dalam IEC 587:1986. Bentuk gelombang, magnitude dan THD arus bocor atau *Leakage Current* (LC) yang mengalir dari sumber tegangan menuju sisi ground dapat menyediakan informasi yang berguna untuk diagnosis dan menggambarkan keadaan material isolasi yang terkontaminasi.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembuatan tugas akhir adalah untuk melakukan kajian atau studi arus bocor yang mengalir pada permukaan material isolasi polimer HDPE menggunakan metode IPT dengan :

1. Mengetahui mekanisme terjadinya arus bocor pada permukaan material isolasi yang terkontaminasi.

---

[1] Mahasiswa Teknik Elektro Undip

[2] Dosen Teknik Elektro Undip

- Mengetahui pengaruh waktu penerapan tegangan terhadap gelombang, magnitudo dan %THD arus bocor pada permukaan material HDPE.
- Membandingkan bentuk magnitudo dan sifat hidrofobik permukaan material HDPE melalui analisis % THD arus bocor antara permukaan material HDPE yang diberi kekasaran khusus dan tanpa diberi kekasaran khusus.

### 1.3 Pembatasan Masalah

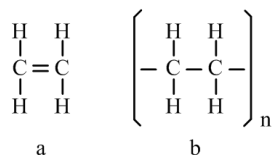
Pembatasan masalah pada Tugas Akhir ini meliputi :

- Pengamatan dan pengambilan data gelombang arus bocor dilakukan melalui osiloskop digital GDS 2104 buatan GW Instek.
- Metode pemberian kontaminan melalui penetasan melalui selang infus dengan pengaturan aliran secara manual memutar roda penjepit selang.
- Pendekatan kecenderungan data menggunakan persamaan regresi kuadrat terkecil (*least-square regression*) polinom orde 2.
- Pengambilan data dilaksanakan di Laboratorium Tegangan Tinggi Universitas Diponegoro dengan frekuensi tegangan 50 Hz.
- Material HDPE dengan pemberian kekasaran khusus permukaan dilakukan dengan pengamplasan permukaan dengan amplas paper nomor 180 cw sebanyak 50 kali dan diasumsikan sama untuk semua material.
- Proses pengambilan data tidak dilakukan secara real time, melainkan setiap 30 menit selama 6 jam.
- Pengukuran dilakukan pada suhu 27°-29°C dan kelembaban 51 % RH, tidak membahas pengaruh kelembaban, suhu dan tekanan terhadap arus bocor yang diamati.
- Elektroda yang digunakan mengacu pada IEC 587:1984.
- Tidak dilakukan analisis morfologi material polimer menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) sebelum dan sesudah pengukuran berlangsung.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Isolasi Polimer

*Polyethylene* adalah polimer yang terdiri dari rantai panjang monomer *ethylene* (nama IUPAC *ethylene* adalah *ethene*).



Gambar 1 Molekul (a) *ethylene* (b) *polyethylene*

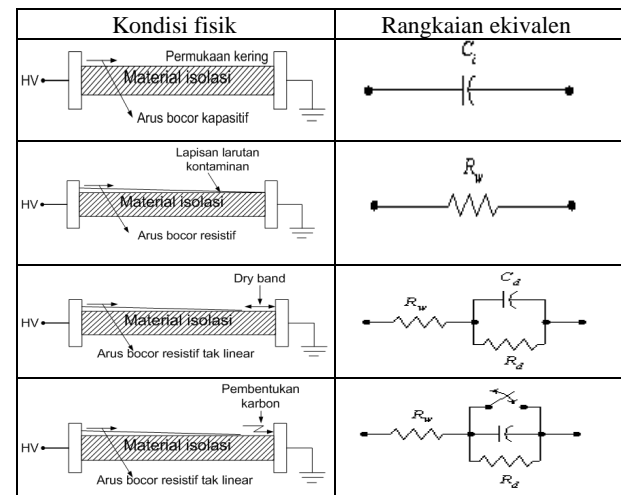
HDPE adalah *polyethylene* termoplastik berasal dari polimerisasi *ethylene*, terbuat dari *petroleum* dan dibutuhkan sekitar 1,75 kg *petroleum* untuk membuat satu kg HDPE. Menurut klasifikasi ASTM D1248, HDPE mempunyai densitas sekitar 0,950 g/cm<sup>3</sup>

### 2.2 Fenomena arus bocor dan *surface discharge*<sup>[11]</sup>

Menurut Suda dan Fernando terjadinya arus bocor sampai flashover dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis. Pada kondisi kering, permukaan isolator memiliki

impedansi yang tinggi dan sangat kecil arus bocor kapasitif berupa peluahan terjadi pada permukaan. Pada saat kondisi permukaan isolator basah menyebabkan mengalirnya larutan elektrolit akibat kontaminan pada permukaan isolator. Arus bocor resistif akan mengalir pada lapisan konduktif disepanjang permukaan isolator. Arus bocor ini tidak seragam dikarenakan lapisan konduksi yang tidak terdistribusi secara merata pada permukaan isolator. pada tahap ini, rangkaian ekuivalen permukaan isolator diwakilkan oleh sebuah resistansi  $R_w$ .

Mengalirnya arus dengan densitas yang cukup besar menyebabkan meningkatnya temperatur. Panas yang dihasilkan dari arus bocor dapat menyebabkan terbentuknya *dryband*. Rangkaian ekuivalen setelah munculnya *dryband* diwakili impedansi paralel resistor (Rd) dan kapasitor (Cd).



Gambar 2 klasifikasi arus bocor pada permukaan isolator

### 2.3 Mekanisme terjadinya flashover

Proses terjadinya peristiwa flashover pada permukaan material dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Adanya kontaminasi  
Kondisi udara di daerah sekitar pantai dan daerah industri banyak mengandung polutan garam dan senyawa kimia. Angin dapat membawa polutan tersebut menempel pada permukaan sebuah material isolasi sehingga menyebabkan terjadinya kontaminasi.
- Pembasahan permukaan material isolasi  
Embun, kabut, hujan dan kondisi kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan adanya *droplet* pada permukaan material isolasi.
- Pemanasan  
Proses pemanasan terjadi akibat mengalirnya arus bocor pada permukaan material. Pemanasan menyebabkan terbentuknya lapisan dengan resistansi kecil dan menguapkan sebagian larutan kontaminan sehingga terbentuk *dryband* didekat elektroda.
- Efek dari medan listrik  
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.
- Spot Discharge*  
Adanya filamen menyebabkan berkurangnya jarak antar elektroda, sehingga meningkatkan medan listrik

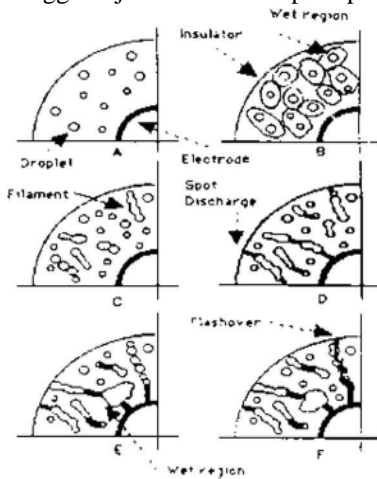
antara dua filamen yang berdekatan. Medan listrik ini secara intensif menyebabkan terjadinya *spot discharge* antara dua filamen seperti yang terlihat pada gambar 3d.

6. Hilangnya sifat hidrofobik

Terjadinya *spot discharge* mengikis lapisan permukaan polimer disekitar *droplet* sehingga menurunkan sifat hidrofobik permukaan material isolasi. Proses koagulasi atau penggumpalan dari filamen juga dapat membentuk *wet region* seperti terlihat pada gambar 3e. *Wet region* ini berbeda dengan *dryband*, *wet region* muncul seolah-olah memperpanjang bentuk elektroda.

7. Lewat denyar atau *Flashover*

Meningkatnya panjang filamen dan formasi dari *wet region* pada akhirnya akan menyebabkan jalur bocor (*leakage path*) yang merupakan sebuah jalur konduktif elektrolit sehingga terjadi *flashover* seperti pada gambar 3f



Gambar 3 Proses terjadinya flasover pada permukaan material isolasi

2.4 Konsep *Fourier Transform* [4,5]

FFT merupakan proses yang mengubah representasi sinyal dalam kawasan waktu kedalam kawasan frekuensi. Analisis FFT untuk suatu fungsi periodik dirumuskan :

$$f(\theta) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta)$$

dimana :  $a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) d\theta$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) \cos n\theta d\theta$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\theta) \sin n\theta d\theta, n = 1, 2, 3, \dots$$

2.5 *Total Harmonic Distortion (THD)* [5]

Untuk mengindikasikan besarnya harmonisa dari sebuah gelombang kedalam besaran angka adalah Total Harmonic Distortion (THD), dirumuskan :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} M_h^2}}{M_1} \times 100\%$$

Dimana  $M_h$  adalah nilai rms dari komponen harmonisa  $h$  dengan kuantitas sebesar  $M$ .

2.6 *Regresi kuadrat terkecil (Least Square)*

Prosedur kuadrat terkecil untuk mencocokkan data terhadap polinom derajat ke- $m$ , persamaan matematisnya :

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m + e$$

untuk persamaan ini jumlah kuadrat dari sisa-sisanya :

$$Sr = \sum_{i=1}^n (e_i)^2$$

$$= \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - \dots - a_mx_i^m)^2$$

untuk menentukan nilai-nilai  $a_0, a_1, a_2$  hingga  $a_m$ , persamaan diatas dideferensialkan terhadap masing-masing koefisien. Sehingga didapatkan persamaan :

$$a_0n + a_1 \sum x_i + a_2 \sum x_i^2 + \dots + a_m \sum x_i^m = \sum y_i$$

$$a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 + a_2 \sum x_i^3 + \dots + a_m \sum x_i^{m+1} = \sum x_i y_i$$

$$a_0 \sum x_i^2 + a_1 \sum x_i^3 + a_2 \sum x_i^4 + \dots + a_m \sum x_i^{m+2} = \sum x_i^2 y_i$$

$$a_0 \sum x_i^m + a_1 \sum x_i^{m+1} + a_2 \sum x_i^{m+2} + \dots + a_m \sum x_i^{2m} = \sum x_i^m y_i$$

Besarnya galat taksiran baku untuk regresi polinom orde 2 dihitung dengan rumus :

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{S_r}{n-(m+1)}}$$

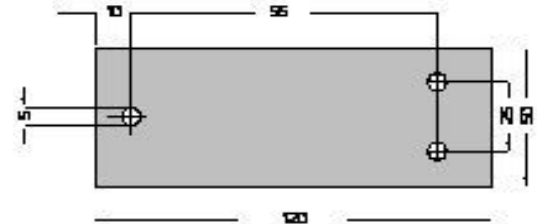
,  $m$  adalah orde,  $n$  adalah jumlah data

3 SISTEM PENGUKURAN DAN AKUISISI DATA

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Sampel

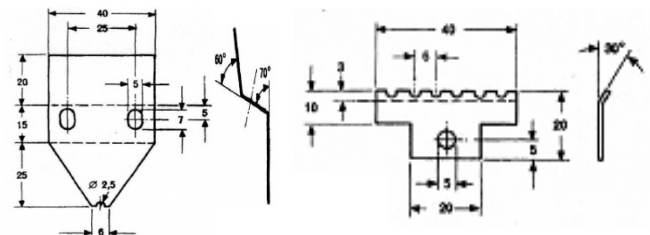
Sampel HDPE memiliki dimensi ukuran panjang 120 mm, lebar 50 mm dan tebal 6 mm (IEC 587:1984).



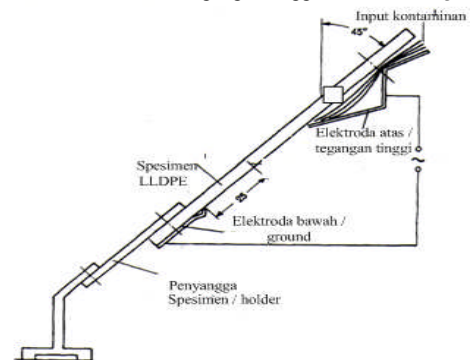
Gambar 4 Ukuran material HDPE yang digunakan.

3.1.2 Elektroda

Elektroda yang digunakan terbuat dari stainless dengan ketebalan 0,5 mm sesuai dengan standar IEC 587:1984.



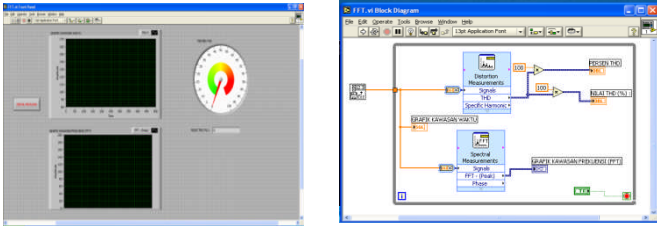
Gambar 5 Bentuk elektroda tegangan tinggi dan elektroda ground .



Gambar 6 Pemasangan elektroda pada material.

### 3.1.3 Perancangan perangkat lunak

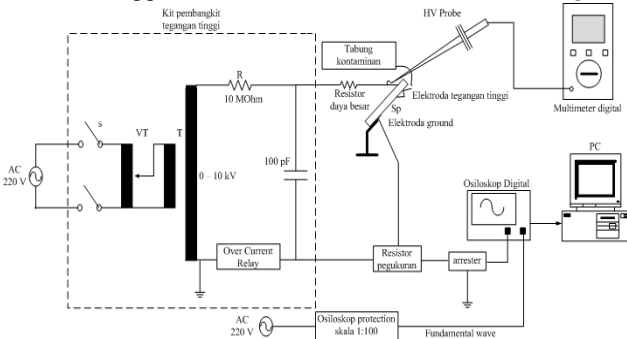
Perangkat lunak atau *software* yang digunakan dalam proses analisa dan perhitungan adalah program Labview 7.1. Program Labview memiliki dua bagian utama yaitu Block Diagram dan Front Panel seperti gambar 7.



Gambar 7 Front panel dan Block diagram pada Labview 7.1.

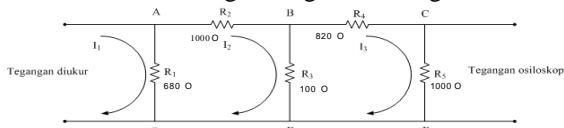
### 3.2 Rangkaian Pengukuran dan Akuisisi Data

Gambar 8 menunjukkan sistem pengukuran arus bocor menggunakan metode *Inclined-Plane Tracking* (IPT).



Gambar 8 Rangkaian sistem pengukuran arus bocor.

Arus bocor dideteksi dengan rangkaian sebagai berikut :



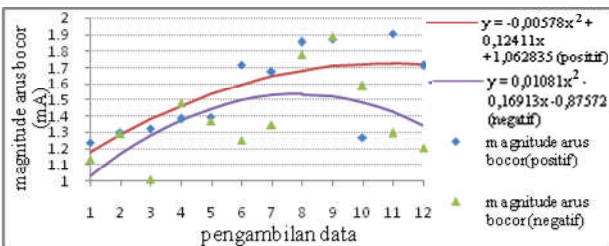
Gambar 9 Rangkaian resistor pengukuran arus bocor.

Melalui proses perhitungan didapatkan  $I_1 = 0,02857 V_{CF}$

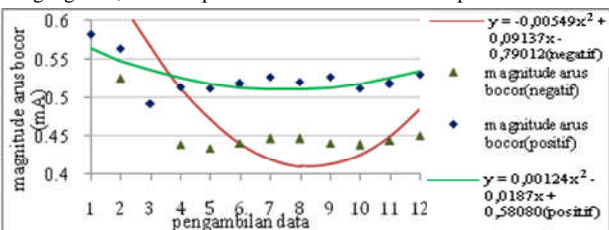
## 4 HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

### 4.1 Analisis magnitudo arus bocor terhadap waktu

Bagian ini menjelaskan hasil pengukuran arus bocor pada material HDPE untuk penerapan tegangan 2,5 kVrms, 3,5 kVrms dan 4,5 kVrms.

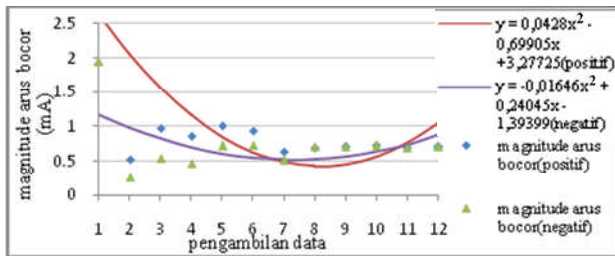


Gambar 10 Grafik hubungan magnitudo arus bocor terhadap waktu tegangan 2,5 kVrms permukaan material HDPE tanpa kekasaran khusus.

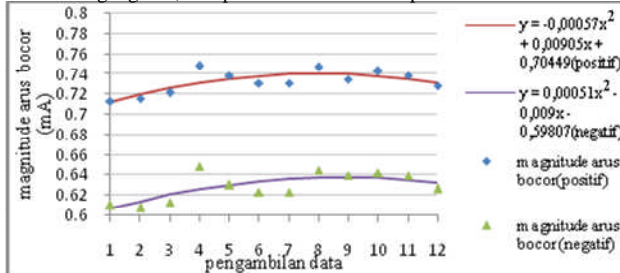


Gambar 11 Grafik hubungan magnitudo arus bocor terhadap waktu tegangan 2,5 kVrms permukaan material HDPE dengan kekasaran khusus.

Untuk tegangan terapan 2,5 kV pada permukaan material HDPE tanpa kekasaran khusus (gambar 10), terlihat nilai magnitude arus bocor siklus positif dan negatif cenderung naik terhadap fungsi waktu. Bentuk gelombang arus bocor ini berupa pulsa-pulsa arus yang merupakan jenis arus bocor kapasitif. Pada saat awal pengukuran, aliran kontaminan mulai membasahi sebagian permukaan material sehingga membentuk jalur konduksi yang tidak kontinu. Hal ini dapat menyebabkan munculnya arus bocor kapasitif berupa pulsa-pulsa arus yang merupakan peristiwa *spot discharge* dengan magnitude yang bervariasi. Seiring bertambahnya waktu, aliran kontaminan semakin merata dipermukaan material menyebabkan panjang filamen bertambah sehingga jalur *spot discharge* antar filamen semakin dekat dan akibatnya jumlah pulsa arus dan magnitude pulsa arus akan semakin meningkat. Sedangkan untuk tegangan terapan 2,5 kV pada permukaan material HDPE dengan kekasaran khusus (gambar 11) terlihat magnitude arus bocor cenderung menurun. Hal ini dikarenakan bentuk gelombang arus bocor pada saat pengukuran berupa pulsa arus sedangkan selanjutnya berupa sinus terdistorsi. 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 merupakan daerah konduktif yang dikelilingi dengan area dengan resistansi tinggi. Filamen-filamen ini terbentuk secara acak diseluruh permukaan material isolasi. Hal ini dapat menyebabkan munculnya arus bocor kapasitif berupa pulsa-pulsa arus yang merupakan peristiwa *spot discharge* dengan magnitude yang bervariasi. Seiring bertambahnya waktu, *discharge* lokal yang terjadi di sebagian permukaan material dapat menyebabkan penurunan sifat hidrofobik material sehingga membentuk suatu daerah yang tak teratur dinamakan *wet region*. Proses koagulasi atau penggumpalan dari filamen juga 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. Adanya jalur konduktif elektrolit akibat terbentuknya *wet region* menyebabkan mengalirnya arus bocor resistif berupa gelombang sinus terdistorsi dikarenakan konduktifitas *wet region* yang tidak seragam. Mengalirnya arus bocor pada jalur konduktif elektrolit ini merupakan peristiwa *flashover* yang terjadi pada permukaan material isolasi. Magnitude pulsa arus lebih besar daripada magnitude sinus terdistorsi dikarenakan peristiwa *discharge* menimbulkan efek surja hubung yang merupakan proses pemutusan dan penyambungan kontak listrik dengan frekuensi yang relatif tinggi.

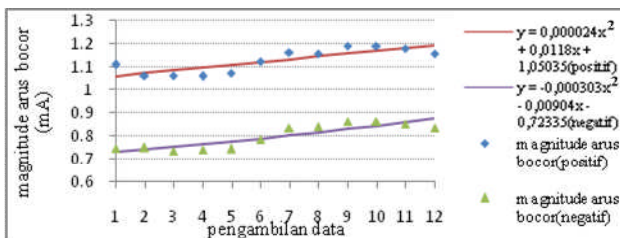


Gambar 12 Grafik hubungan magnitudo arus bocor terhadap waktu tegangan 3,5 kv permukaan HDPE tanpa kekasaran khusus.

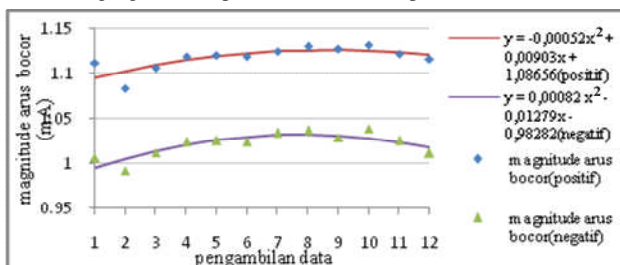


Gambar 13 Grafik hubungan magnitudo arus bocor terhadap waktu tegangan 3,5 kv permukaan HDPE dengan kekasaran khusus.

Untuk tegangan terapan 3,5 kV pada permukaan material HDPE tanpa kekasaran khusus (gambar 12), terlihat nilai magnitudo arus bocor siklus positif dan negatif cenderung menurun terhadap fungsi waktu. Hal ini dikarenakan pada pengambilan data ke-1 didapatkan gelombang arus bocor bentuk pulsa, kemudian pengambilan data ke-2 sampai ke-6 didapatkan gelombang arus bocor periodik pulsa selanjutnya bentuk gelombang arus bocor sinus terdistorsi. Sedangkan untuk tegangan terapan 3,5 kV pada permukaan material HDPE dengan kekasaran khusus (gambar 13) terlihat magnitudo arus bocor cenderung mengalami kenaikan yang kecil. Bentuk gelombang arus bocor selama pengukuran berupa sinus terdistorsi. Pada saat awal pengukuran, aliran kontaminan mulai membasahi sebagian permukaan material. Permukaan material yang lebih kasar lebih mudah membentuk jalur konduksi yang kontinu, sehingga akan menyebabkan mengalirnya arus bocor resistif dengan magnitudo yang relatif konstan. Semakin bertambahnya waktu jalur bocor akan semakin pendek karena adanya *wet region* yang seolah memperpanjang elektroda sehingga intensitas arus bocor yang terjadi semakin besar.



Gambar 14 Grafik hubungan magnitudo arus bocor terhadap waktu tegangan 4,5 kv permukaan HDPE tanpa kekasaran khusus.

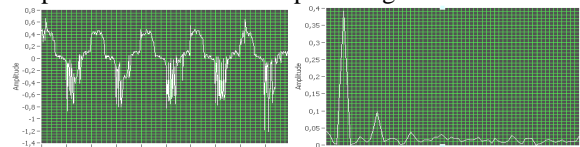


Gambar 15 Grafik hubungan magnitudo arus bocor terhadap waktu tegangan 4,5 kv permukaan HDPE dengan kekasaran khusus.

Untuk tegangan terapan 4,5 kV baik pada permukaan material HDPE tanpa kekasaran khusus (gambar 14) maupun dengan kekasaran khusus (gambar 15) didapatkan bentuk gelombang arus bocor sinus terdistorsi selama pengukuran. Terlihat nilai magnitudo arus bocor siklus positif dan negatif cenderung meningkat terhadap fungsi waktu. 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 semakin cepat akibat aliran kontaminan yang semakin besar meningkatkan densitas *droplet* sehingga semakin cepat membentuk sebuah filamen. Filamen-filamen ini terbentuk secara acak diseluruh permukaan material isolasi. Aliran kontaminan dan tegangan terapan yang semakin besar menyebabkan proses pemanjangan filamen semakin cepat sehingga *spot discharge* jarang terjadi. Proses koagulasi filamen akibat pemanasan 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. Adanya jalur konduktif elektrolit akibat terbentuknya *wet region* ini menyebabkan mengalirnya arus bocor resistif berupa gelombang sinus terdistorsi dikarenakan konduktifitas *wet region* yang tidak seragam. Semakin bertambahnya waktu, distribusi *wet region* semakin meluas di permukaan material dan semakin seragam konduktifitasnya. Karena jalur bocor semakin pendek maka intensitas arus bocor relatif akan mengalami peningkatan terhadap fungsi waktu.

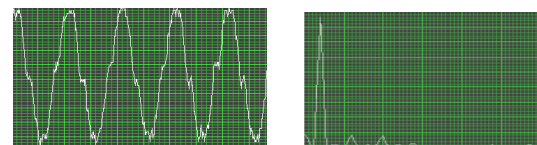
#### 4.2 Analisis bentuk gelombang dan nilai THD arus bocor sebagai fungsi waktu

Untuk 12 kali pencuplikan data masing-masing dilakukan 30 menit diambil satu data mewakili tiap pencuplikan untuk dilakukan perhitungan %THD.



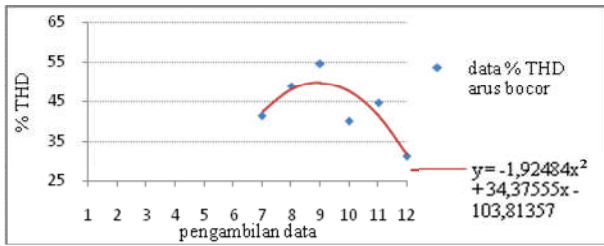
Gambar 16 Bentuk dan spektrum harmonik arus bocor tegangan terapan 2,5 kv untuk material HDPE tanpa kekasaran khusus.

Harmonisa ke-1 (fundamental)	= 0,390982 mA
Harmonisa ke-2	= 0,025815 mA
Harmonisa ke-3	= 0,09757 mA
Harmonisa ke-4	= 0,023377 mA
% THD	= 31,3798 %

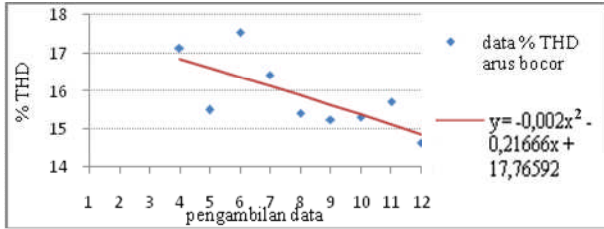


Gambar 17 Bentuk dan spektrum harmonik arus bocor tegangan terapan 2,5 kv untuk material HDPE dengan kekasaran khusus.

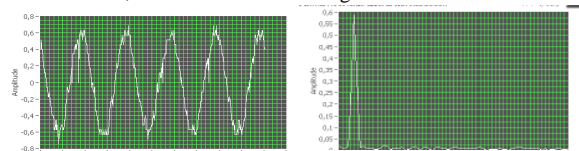
Harmonisa ke-1 (fundamental)	= 0,432359 mA
Harmonisa ke-2	= 0,009993 mA
Harmonisa ke-3	= 0,042216 mA
Harmonisa ke-4	= 0,009493 mA
% THD	= 14,6532 %



Gambar 18 Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 2,5 kv material HDPE tanpa kekasaran khusus.

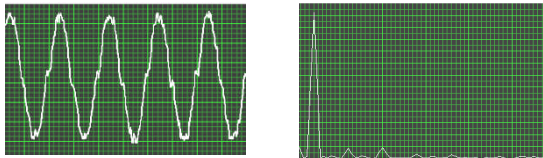


Gambar 19 Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 2,5 kv material HDPE dengan kekasaran khusus.



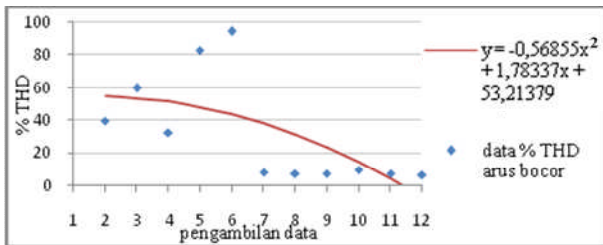
Gambar 20 Bentuk dan spektrum harmonik arus bocor tegangan terapan 3,5 kV untuk material HDPE tanpa kekasaran khusus.

- Harmonisa ke-1 (fundamental) = 0,566849 mA
- Harmonisa ke-2 = 0,016437 mA
- Harmonisa ke-3 = 0,019119 mA
- %THD = 8,36192 %

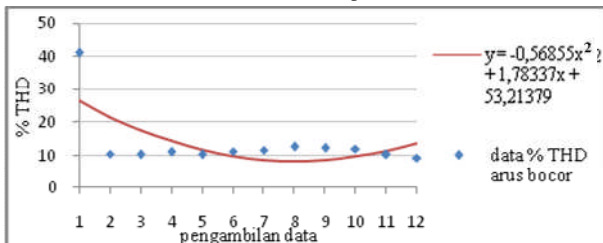


Gambar 21 Bentuk dan spektrum harmonik arus bocor tegangan terapan 3,5 kv untuk material HDPE dengan kekasaran khusus.

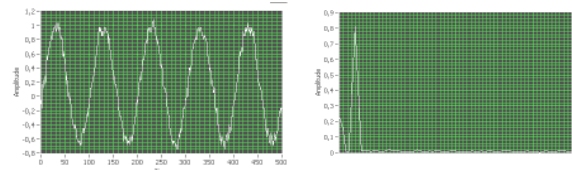
- Harmonisa ke-1 (fundamental) = 0,613195 mA
- Harmonisa ke-2 = 0,011539 mA
- Harmonisa ke-3 = 0,042568 mA
- %THD = 11,5297 %



Gambar 22 Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 3,5 kv material HDPE tanpa kekasaran khusus.

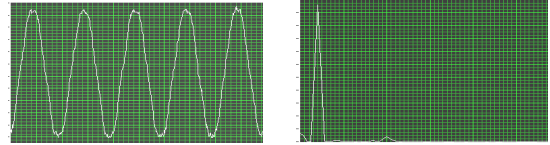


Gambar 23 Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 3,5 kv material HDPE dengan kekasaran khusus.



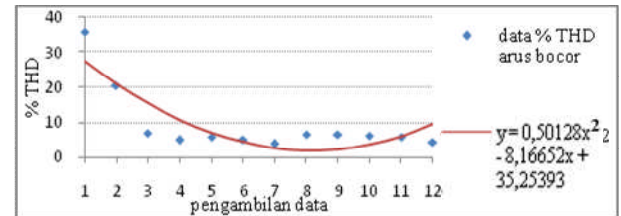
Gambar 24 Bentuk dan spektrum harmonik arus tegangan terapan 4,5 kv untuk material HDPE tanpa kekasaran khusus.

- Harmonisa ke-1 (fundamental) = 0,8109 mA
- Harmonisa ke-2 = 0,013662 mA
- Harmonisa ke-3 = 0,020658 mA
- Harmonisa ke-4 = 0,010923 mA
- %THD = 5,3678 %

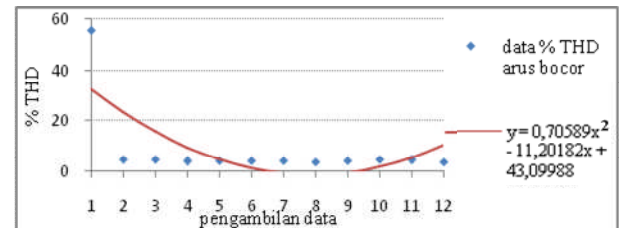


Gambar 25 Bentuk dan spektrum harmonik arus tegangan terapan 4,5 kv untuk material HDPE dengan kekasaran khusus.

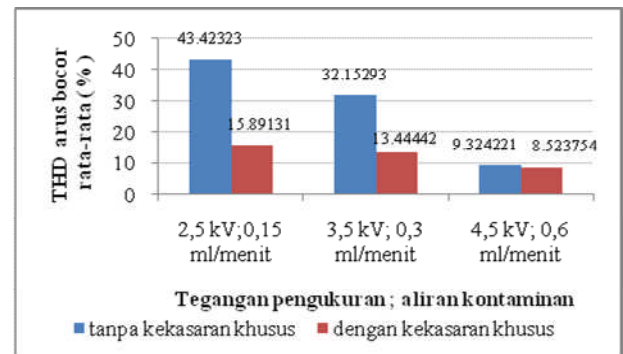
- Harmonisa ke-1 (fundamental) = 1,059721 mA
- Harmonisa ke-2 = 0,010059 mA
- Harmonisa ke-3 = 0,006569 mA
- Harmonisa ke-4 = 0,006012 mA
- %THD = 4,4255 %



Gambar 26 Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 4,5 kv material HDPE tanpa kekasaran khusus.



Gambar 27 Grafik hubungan %THD terhadap fungsi waktu tegangan terapan 4,5 kv material HDPE dengan kekasaran khusus.



Gambar 28 Perbandingan THD arus bocor pada permukaan HDPE tanpa diberi kekasaran khusus dan dengan diberi kekasaran khusus.

Fenomena penurunan nilai % THD sebagai fungsi waktu dapat dijelaskan sebagai berikut : Pada saat awal pengukuran, aliran kontaminan mulai membasahi sebagian permukaan material secara acak sehingga membentuk jalur konduksi yang tidak kontinyu 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 kontinyu 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 kontinyu ditunjukkan dengan nilai %THD yang semakin menurun.

## 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa didapat diantaranya:

1. Bentuk gelombang arus bocor yang muncul dalam pengukuran sangat dipengaruhi oleh kondisi kekasaran permukaan material dan kondisi lingkungan yang berupa intensitas aliran polutan.
2. Sebagai fungsi waktu magnitude arus bocor bentuk pulsa cenderung berosilasi naik sedangkan untuk arus bocor bentuk sinus terdistorsi cenderung konstan.
3. Dengan pendekatan regresi diperoleh nilai % THD gelombang arus bocor cenderung menurun terhadap fungsi waktu, yang berarti sifat hidrofobik permukaan material HDPE semakin menurun.
4. Untuk kondisi pengukuran yang sama nilai rata-rata %THD permukaan HDPE dengan kekasaran khusus lebih kecil dibandingkan permukaan HDPE tanpa kekasaran khusus (gambar 28), sehingga permukaan yang lebih kasar lebih bersifat hidrofilik atau menyerap air dibandingkan dengan permukaan yang halus.
5. Semakin besar tegangan dan aliran kontaminan yang diterapkan menyebabkan nilai rata-rata %THD arus bocor semakin kecil, untuk tegangan 2,5 kV aliran kontaminan 0,15 ml/menit %THD rata-rata arus bocor permukaan HDPE tanpa kekasaran khusus 43,42% sedang pada permukaan HDPE dengan kekasaran khusus 15,89%, untuk tegangan 3,5 kV aliran kontaminan 0,3 ml/menit %THD rata-rata arus bocor permukaan HDPE tanpa kekasaran khusus 32,15% sedang pada permukaan HDPE dengan kekasaran khusus 13,44%, untuk tegangan 4,5 kV aliran kontaminan 0,6 ml/menit %THD rata-rata arus bocor permukaan HDPE tanpa kekasaran khusus 9,32%

sedang pada permukaan HDPE dengan kekasaran khusus 8,52%.

### 5.2 Saran

1. Dalam penelitian arus bocor selanjutnya dapat dilakukan dengan alat akuisisi data yang *real time* sehingga data yang diperoleh lebih akurat.
2. Penelitian arus bocor selanjutnya dapat dikembangkan dengan penelitian morfologi material menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui tingkat kerusakan material.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arrillaga,J.,Bradley,D.A.,Bodger,P.S., *Power System Harmonic*, John Wiley & sons Ltd, Brisbane,1985.
- [2] Folland, Gerald B., "*Fourier analysis and its applications*", California : Wadsworth & Brooks, 1992.
- [3] 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.
- [4] IEC 587, 1984, *Methods of Evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions*, British Standards Institution, British standard (BS).
- [5] Latief,Melda dan Suwarno," Unjuk kerja permukaan isolator pasangan luar polimer epoxy resin 20 kv pada berbagai kondisi lingkungan", seminar nasional teknik ketenagalistrikan, 2005.
- [6] 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.
- [7] Mohamed Afendi bin Mohamed Piah,"*Leakage Current and Surface Tracking characterization of new natural rubber-based material for High Voltage insulation*"Thesis Universiti Teknologi Malaysia, 2004.
- [8] Steven C. Chapra, Raymond P.Canale,"Metode Numerik",Jakarta:Penerbit Erlangga,1994.
- [9] Tobing, Bonggas L.,"*Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi* ", Jakarta : PT.Gramedia Pustaka Utama, 2002.
- [10] 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 Volume 2.

### BIODATA MAHASISWA

**Rohmat Nugroho (L2F 004 508)** lahir sebagai anak pertama di Sukoharjo, 6 Februari 1986. Mahasiswa Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang konsentrasi ketenagaan.



Semarang, Mei 2009  
Mengetahui.

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr.Ir. Hermawan, DEA  
NIP. 131 598 857

Abdul Syukur,ST,MT  
NIP. 132 231 132