

ANALISIS ARUS BOCOR PADA ISOLATOR SUSPENSII TERKONTAMINASI BERAT PADA SUHU DI ATAS SUHU KAMAR DAN TEGANGAN BERFLUKTUASI

Aulia
Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi
Fakultas Teknik Unand
Limau Manis Padang
Telp. 075172584
Email : aulia@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Kegagalan isolator tegangan tinggi jenis suspensi di Indonesia disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya adalah adanya arus bocor pada permukaan isolator yang terkontaminasi. Arus bocor ini akan menyebabkan pemanasan lokal dan rugi-rugi daya yang secara akumulatif pada suatu sistem yang besar akan menimbulkan kerugian milyaran rupiah. Sampai saat ini fenomena masih terus berlanjut dan kajian mengenai ini terus dilakukan. Pada kegiatan ini dilakukan usaha untuk memahami fenomena tersebut dengan melakukan serangkaian pengujian di laboratorium dengan polutan semen dan air garam serta kombinasi antara keduanya. Berdasarkan pengamatan dan analisa data, diperoleh informasi bahwa arus bocor yang melalui permukaan isolator selalu ada. Dengan tegangan terapan sebesar fasa ke fasa sekitar 20 kV, isolator terpolusi mengalami peningkatan arus bocor dan THD yang signifikan jika suhu dinaikkan beberapa derajat. Peningkatannya bisa mencapai 30% dengan kenaikan suhu 3 derajat.

Kata kunci: isolator suspensi, arus bocor, tegangan terapan, polutan, rugi-rugi daya dan THD

BAB I. PENDAHULUAN

Kegagalan isolator tipe suspensi yang banyak dipakai di Indonesia bisa mengakibatkan kerugian milyaran rupiah baik dari sisi perusahaan listrik sendiri ataupun konsumen. Kerugian dari pihak penyalur energi listrik sebenarnya bukan hanya pada saat terjadinya kegagalan penyaluran daya, tapi telah dimulai sejak timbulnya arus bocor pada isolator sebagai akibat terjadinya pengotoran pada permukaannya [Suwarno dkk, 2001]. Arus bocor yang muncul ini akan semakin besar dengan bertambahnya jumlah pengotor dengan kenaikan yang signifikan, yaitu sebesar 0.89 mA menjadi 23.3 mA pada *equivalent salt deposit density* (ESDD) $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mg/cm}^2$ dan $0,08 \text{ mg/cm}^2$. Kenaikan ini juga ditandai dengan meningkatnya total harmonic distortion (THD) dari 19,96 % menjadi 34,56 %, [Aulia dkk, 2005]. Faktor lain yang tidak kalah pentingnya dalam peningkatan arus bocor adalah kenaikan suhu dan tegangan. Bersama dengan kontaminan, kenaikan suhu dan tegangan yang berada diatas suhu dan tegangan nominal akan memberikan pengaruh yang semakin signifikan terhadap penurunan kualitas isolator.

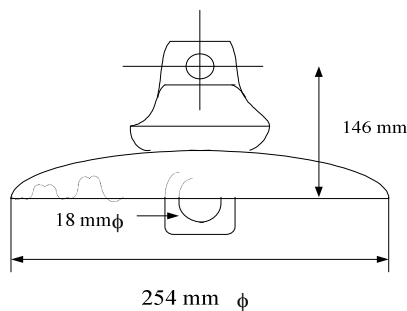
Arus bocor ini secara akumulatif bisa terjadi berbulan-bulan lamanya tanpa diketahui oleh operator di lapangan karena belum tersedianya sistem pengukuran dan monitoring yang memadai. Penyebab lain tidak terdeteksinya arus bocor ini adalah karena amplitudo arusnya kecil dan oleh sistem dianggap hal ini kondisi normal.

Arus bocor pada permukaan isolator merupakan fungsi dari konduktivitas larutan pengotoran. Konduktivitas larutan pengotoran naik bersamaan dengan naiknya ESDD atau *Kepadatan Adhesi Garam*. Untuk isolator jenis pasangan-luar (*outdoor insulators*) nilai ESDD dipengaruhi oleh lingkungan dimana isolator tersebut dipasang. Senyawa garam (NaCl) dan bahan tak larut (*lembam*) yang terdapat diudara terutama di daerah pantai, akan terbawa angin dan menempel pada permukaan isolator. Komponen konduktif dan komponen tak larut yang dibawa oleh angin akan membentuk

lapisan pengotoran pada permukaan isolator. Apabila isolator yang telah dikotori berada pada udara lembab dan berkabut, maka lapisan pengotoran akan menyerap uap air sehingga membentuk larutan pengotoran dipermukaan isolator. Larutan pengotoran tersebut akan menghasilkan kenaikan volume larutan dan konduktivitas larutan [Joko S.dkk, 2001].

Dalam penelitian ini direncanakan kegiatan untuk menganalisa spektrum harmonisa arus bocor dan total distorsi harmonisa arus bocor pada isolator terkontaminasi dikondisikan pada suhu diatas suhu kamar dan tegangan diatas tegangan operasi berfluktuasi diatas tegangan nominal 20 kV dengan menggunakan Fast Fourier Transform (FFT). Analisa ini direncanakan akan mengetahui peningkatan arus bocor pada isolator suspensi terkontaminasi.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA



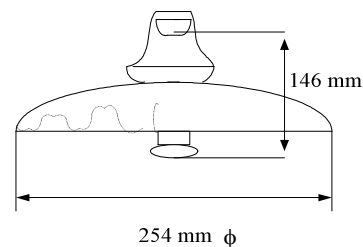
Gambar 1. Isolator gantung tipe Clevis

Isolator untuk saluran transmisi diklasifikasikan menurut penggunaan dan konstruksinya menjadi isolator gantung (*suspension*), jenis pasak (*pin-type*), jenis batang panjang (*long-rod*) dan jenis pos-saluran (*line-post*). Gandengan isolator gantung pada umumnya dipakai pada saluran transmisi tegangan tinggi, sedang isolator batang panjang dipakai di tempat-tempat dimana pengotoran udara karena garam dan debu banyak sekali. Kedua jenis yang lain dipakai pada saluran transmisi yang relatif rendah (kurang dari 22 – 33 kV).

Pada isolator gantung dikenal dua jenis, yakni tipe *clevis* dan tipe *ball-and-socket* (isolator tunggal yang dibuat seperti cakram dengan soket pada tutup dan pin berbentuk bola pada bagian ujung bawah sesuai standar SS IEC 305) [10], yang masing-masing terbuat dari porselen dengan tutup (*cap*) dari besi tempaan di satu pihak dan pasak baja dilain pihak, yang keduanya diikatkan pada porselen dengan semen *Portland* berkualitas baik [Svk TR 5 , 2000].

Ukuran yang dikenal adalah dengan piringan bergaris tengah 250 mm (standar Jepang), jarak rambat (L) 31 cm, faktor bentuk (F) sebesar 0.79, luas permukaan total (S) 1500 cm^2 [3], 180 mm, 280 mm dan 320 mm, masing-masing dengan gaya mekanis 12000 kg dan 16500 kg (standar), 6000 kg, 21000 kg dan 30000 kg. Isolator gantung digandengkan menurut kebutuhan isolasi [Arismunandar dkk. 1993].

Sebagai isolator pasang luar dan bersentuhan langsung dengan perubahan cuaca, ada beberapa karakteristik yang harus dipenuhi oleh isolator tipe suspensi yaitu karakteristik bahan, karakteristik mekanik, karakteristik elektrik dan karakteristik tembus permukaan. Untuk isolator gantung 250 mm yang dikotori berlaku rumus tembus permukaan sebagai berikut [Arismunandar, 1993] :



Gambar 2. Isolator gantung tipe Ball & Socket

$$V = \frac{28 N}{\left(\left(\frac{W}{0.1} \right)^{1/5} \left(1.5 (k^{1/3} + 2) + \frac{5}{8} K \right) \right)} \quad (1)$$

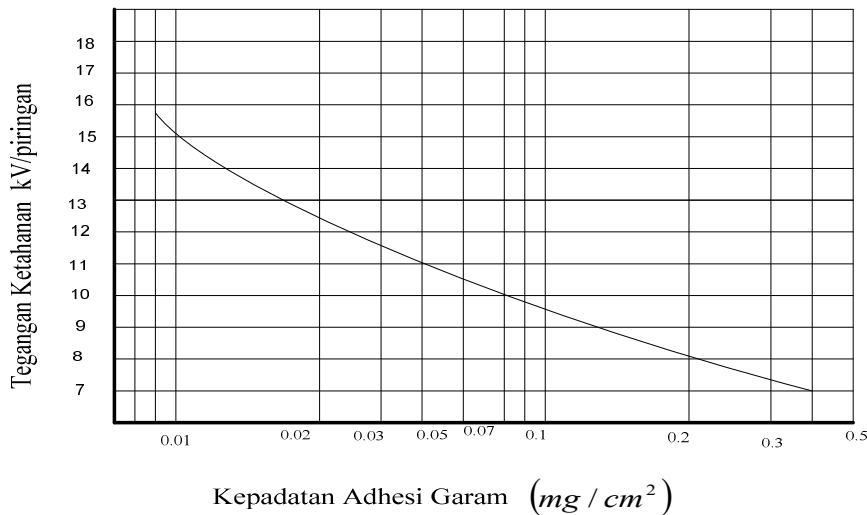
dimana :

V = Tegangan *Flashover* minimum untuk gandengan isolator gantung dengan N piringan (kV)

W = Kepadatan adhesi garam (mg / cm^2)

K = Kepadatan adhesi serbuk poles

N = Jumlah piringan isolator



Gambar 3 memperlihatkan karakteristik yang direkomendasikan untuk perencanaan tegangan ketahanan (*withstand voltage*) isolator per piringan untuk isolator gantung 250 mm. berkaitan dengan sifat adhesi pengotoran oleh garam. Kepadatan adhesi garam akan menurunkan tingkat ketahanan tegangan per piringan. Ketahanan tegangan tertinggi dicapai pada

Gambar 3. Karakteristik yang direkomendasikan untuk perencanaan tegangan Ketahanan isolator gantung 250 mm

tingkat kepadatan adhesi kurang dari $0,01 mg/cm^2$ dengan ketahanan tegangan besar dari 25 kV/piringan. Nilai ini terus menurun hampir secara linier dan mencapai nilai kecil dari 7 kV/piringan pada kepadatan adhesi garam $0,4 mg/cm^2$.

a. Pengotoran Isolator

Tahanan isolasi dari permukaan isolator bersih besar sekali. Nilainya menjadi sangat berkurang menjadi beberapa mega ohm bila permukaannya menjadi kotor apabila isolator tersebut terpasang di daerah-daerah industri atau di tepi laut. Berdasarkan pengalaman mengenai kerusakan terhadap saluran transmisi, maka daerah-daerah pengotoran (contamination) diklasifikasikan menurut tabel (1). Pembagian ini dipengaruhi oleh kondisi geografis, misalnya daerah yang banyak mengalami topan (*typhoon*), daerah pegunungan, daerah dataran dsb.

Tabel 1 . Klasifikasi Tingkat Pengotoran Isolator

Klasifikasi pengotoran		Kepadatan Adhesi Garam
Pengotoran Ringan	A	< 0.01
	B	0.01-0.03
Pengotoran Sedang	C	0.03-0.06
	D	0.06-0.12
Pengotoran Berat	E	0.12-0.25
	F	> 0.25

Daerah pantai merupakan sumber terbesar pengotoran garam pada isolator. Beberapa studi tentang peningkatan pengotoran permukaan isolator sebagai fungsi dari jarak isolator ke laut, bentuk isolator, daerah sekeliling isolator, arah angin dan kecepatan angin telah dilakukan. Pengukuran *ESDD* untuk sepuluh bentuk isolator yang berbeda yang berada 500 m dari garis pantai menunjukkan nilai tertinggi yaitu sebesar $50 \mu g/cm^2$ per bulan [M Farzaneh dkk, 2003].

b. Arus Bocor Pada Permukaan Isolator

Senyawa garam pada larutan pengotor isolator akan larut kedalam pelarut polar H_2O yang berasal dari kabut (uap) air dan membentuk larutan elektrolit. Konduktivitas larutan elektrolit ini akan

semakin tinggi bersamaan dengan naiknya *ESDD* larutan pengotor. Hubungan konduktivitas larutan pengotor dengan *ESDD* [Joko Sedyadi dkk, 2001] dapat dilihat pada persamaan (2).

$$\sigma_s = ESDD (HR) (T - T_r) \quad (2)$$

dengan,

- σ_s = Konduktivitas larutan pengotor ($\mu S / cm^2$)
- HR* = kelembaban relatif (%)
- ESDD* = Equivalent Salt Deposit Density (mg / cm^2)
- T* = temperatur ($^{\circ}C$)
- T_r* = temperatur referensi ($^{\circ}C$)

Hubungan antara arus bocor dengan konduktivitas larutan pengotor isolator dinyatakan oleh persamaan (3):

$$I_{ec} = [K.A.L\sigma_s / F]^{1/n+1} \quad (3)$$

dengan,

- I_{ec} = Arus bocor kritis (μA)
- σ_s = konduktivitas larutan ($\mu S / cm^2$)
- F* = faktor bentuk isolator
- K* = $(\sqrt{2} / 1.3)^{-(n+1)}$
- L* = Jarak Rambat (cm)
- n* = Konstanta Busur Api
- A* = Konstanta Busur Api

Arus bocor yang mengalir mengakibatkan panas dan penguapan pada bagian permukaan isolator sehingga terbentuk pita kering. Proses pengeringan ini menyebabkan resistansi permukaan isolator meningkat. Pada kondisi ini resistansi pita kering menjadi lebih besar sehingga loncatan api sulit terjadi. Namun jika kemudian titik-titik air terserap lagi maka lapisan kontaminan menjadi basah lagi. Akibatnya akan terjadi mekanisme kegagalan peluahan parsial yang berulang-ulang yang bisa menghasilkan ionisasi termal udara sekelilingnya. Mekanisme ini akan menyebabkan terjadinya banjir elektron.

BAB III. METODE PENELITIAN

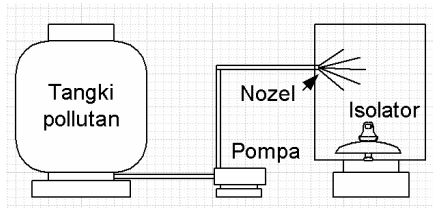
Metodologi yang akan penulis gunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengukur konduktivitas larutan pengotoran dilakukan setiap kali pengkondisian akan dilakukan. Sel konduktansi terdiri dari sebuah wadah gelas kecil, tempat larutan yang akan diukur konduktivitasnya ditempatkan. Kedalam larutan yang hendak diukur konduktivitasnya, ditempatkan dua elektroda platina berbentuk bujur sangkar yang diletakkan dengan jarak tertentu. Tabel (2) memperlihatkan konduktansi spesifik dan konduktansi ekuivalen

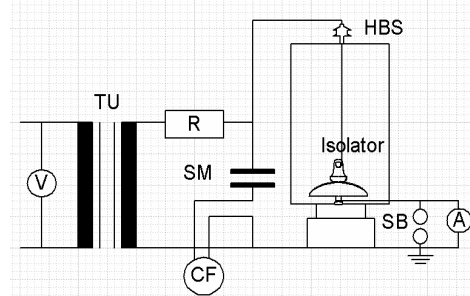
Tabel (2) Konduktansi spesifik dan konduktansi ekuivalen KCL pada suhu 25 °C

Normalitas KCL	$K \Omega^{-1} cm^{-1}$	$\Omega^{-1} cm^2 ekui v^{-1}$
1.0	0.1119	111.9
0.1	0.01289	128.9
0.01	0.001413	141.3
0.001	0.0001469	146.9
0.0000	-	146.9

2. Mengkondisikan pengotoran pada permukaan isolator, dilakukan dengan cara penyemprotan bertahap dan terkontrol. Penyemprotan dilakukan beberapa kali dengan menggunakan pompa untuk air garam dan blower untuk debu semen saja. Penyemprotan berikutnya dilakukan setelah



Gambar 4. Sisitim pengkondisian isolator terpolusi secara tiruan



Gambar 5. Rangkaian pengukuran arus bocor

air garam dari semprotan pertama sudah mengering dan menempel di permukaan isolator. Untuk kontaminan debu saja dilakukan dengan penyemprotan dengan blower. Untuk kontaminan air garam dan debu semen, dilakukan secara berurutan setelah hasil semprotan pertama mengering. Lihat gambar (4)

3. Menaikan suhu isolator dengan menempatkannya pada kotak pengkondisian tertutup dengan cara memanaskan suhu ruangan dengan heater.
4. Mengukur arus bocor pada tegangan terapan, dilakukan dengan menggunakan alat ukur tegangan tinggi yang bersumber dari dua buah trafo tegangan tinggi yang dipasang secara kaskade. Masing-masing trafo mampu menghasilkan tegangan maksimum sebesar 100 kV dengan daya masing-masing 5kVA. Objek uji yang telah dikondisikan kemudian dihubungkan dengan trafo tegangan tinggi secara paralel [suwarno,1999]. Lihat gambar 5.
5. Melakukan pengolahan data arus bocor berdasarkan hasil pengukuran dan menentukan Spektrum Harmonik, *Total Harmonic Distortion (THD)* dari arus bocor untuk berbagai bentuk pengotoran dengan memakai FFT. Untuk mempermudah perhitungan transformasi Fourier waktu diskrit yang sangat rumit untuk jumlah n yang sangat besar maka digunakan algoritma FFT seperti pada persamaan (4).

Keterangan symbol:

- V : voltmeter analog untuk mengukur tegangan input, maksimum 220 V.
- TU : trafo uji 220/100 kV
- R : resistor pelindung jika terjadi hubung singkat
- SM : kondensator ukur tegangan tinggi
- CF : alat ukur tegangan puncak
- HBS : bushing tegangan tinggi
- SB : sela bola proteksi tegangan lebih
- A : pengukur arus digital bolak balik

$$Y_k = \sum_{r=0}^{n-1} \{ \text{Re} [y_r] + j \text{Im} [y_r] \} \{ \text{Re} [W_n^{kr}] + j \text{Im} [W_n^{kr}] \} \quad (4)$$

untuk $k = 0, 1, 2, \dots, n-1$

Untuk mengetahui kandungan harmonik dalam suatu sinyal maka digunakan suatu parameter Total Harmonic Distortion (THD) [Dugan, 1996]. THD dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5) :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n_{\max}} M_n^2}}{M_1} \quad (5)$$

dimana,

M_1 = besar M pada harmonik ke 1 (fundamental)

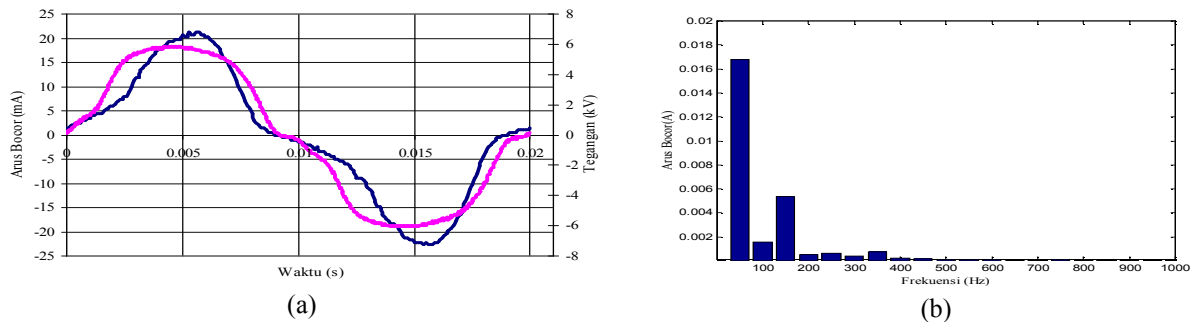
M_n = besar M pada harmonik ke - n ; $n = 2, 3, 4, \dots$

Bab IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1 Karakteristik Arus Bocor Pada Kondisi Terpolusi Berat

6.1.1 Karakteristik Terpolusi Garam

Pada temperatur udara = $26^{\circ}C$, ESDD = $8.3 \cdot 10^{-2}$ mg cm⁻², RH = 88.7 %, diperoleh $i(t)$ peak = 23.3 mA dan THD = 34.5 %. Pada Gambar (7.a) tidak terlihat adanya peluahan pita kering dengan magnituda yang besar baik pada siklus positif maupun negatif.

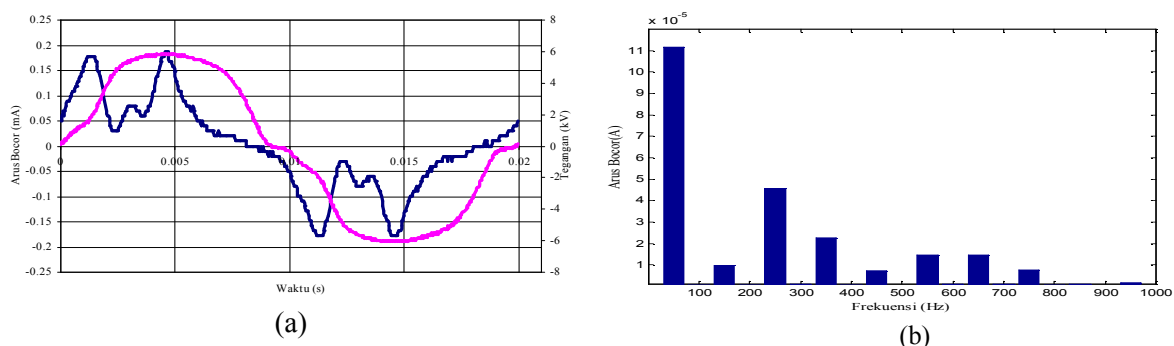


Gambar (7) Bentuk gelombang $i(t)$ (a) dan spektrum frekuensi $i(f)$ (b) pada isolator keadaan bersih basah penyiraman garam 20 detik pada suhu $26^{\circ}C$,

Arus bocor $i(t)$ meningkat dan THD berada pada 34.5 %, jalur konduktif yang dibentuk lapisan kontaminan homogen menurunkan resistifitas permukaan. Pada kondisi ini ESDD dan embun terdistribusi merata pada permukaan isolator, pembentukan pita kering tidak terjadi karena ketersediaan embun air yang cukup (RH = 88.7 %) sehingga embun air belum menguap pada interval waktu 20 ms. Pada Gambar (7.b) arus bocor $i(f)$ memiliki komponen harmonik genap dan ganjil dari 50 Hz hingga 450 Hz, ini mengindikasikan bahwa tidak ada peluahan pada frekuensi yang lebih tinggi dari 450 Hz dan komponen harmonik genap yang kecil menunjukkan adanya pulsa peluahan yang kecil pada setengah siklus gelombang $i(t)$. Untuk temperatur udara = $28^{\circ}C$, ESDD = $6.4 \cdot 10^{-4}$ mg cm⁻², dan RH = 89.41 %, $I(t)$ peak = 1.0 mA, dan THD = 56.5 %.

6.1.2 Karakteristik Terpolusi Semen Kering

Data arus bocor diambil pada kondisi temperatur udara = $25^{\circ}C$, ESDD = $1.3 \cdot 10^{-3}$ mg cm⁻², NSDD = 6.67 mg cm⁻², RH = 72.7 %, diperoleh $i(t)$ peak = 0.181 mA dan THD = 51.14 %.



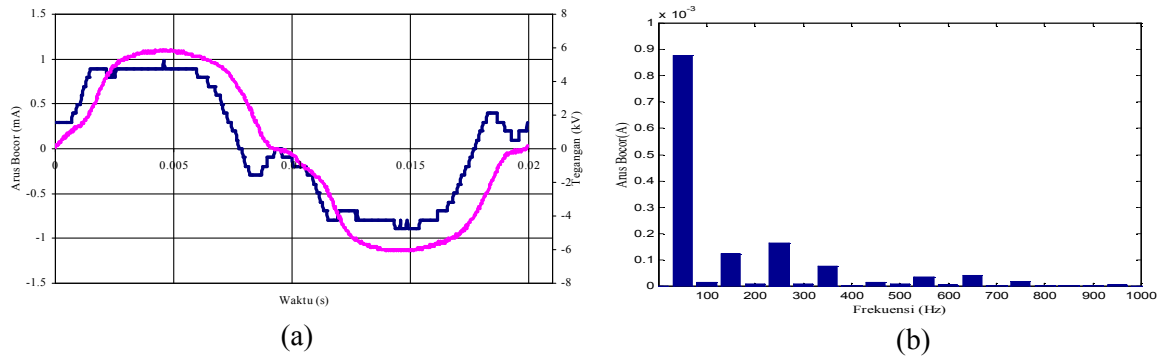
Gambar (9) Bentuk gelombang $i(t)$ (a) dan spektrum frekuensi $i(f)$ (b) pada isolator keadaan terpolusi semen kering pada suhu $25^{\circ}C$

Bentuk gelombang arus bocor $i(t)$ untuk kontaminan semen kering terlihat sama dengan kondisi bersih kering. THD mencapai 51.14 %.

Pada kontaminan semen kering terlihat besar nilai THD naik dibandingkan dengan kondisi bersih kering. THD naik dari 51.14 % ke 60.06 %. Kondisi ini menunjukkan elektron mengeluarkan energi yang lebih besar pada suhu yang lebih tinggi. Pada spektrum frekwensi menunjukkan ada pulsa peluahan pita kering pada harmonik ganjil dan pada harmonik genap dengan magnituda kecil.

6.1.3 Karakteristik Terpolusi Semen Basah

Data arus bocor diambil pada kondisi temperatur udara = $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, ESDD = $1.3 \cdot 10^{-3}\text{ mg cm}^{-2}$, RH = 77.8 %, NSDD = 6.67 mg cm^{-2} , $i(t)$ peak = 0.91 mA dan diperoleh THD = 25.89 %. Lihat gambar 11.

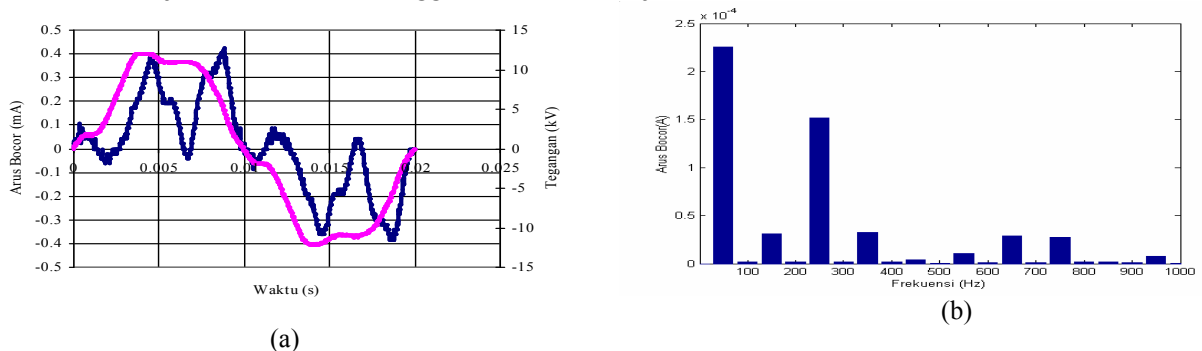


Gambar (11) Bentuk gelombang $i(t)$ (a) dan spektrum frekuensi $i(f)$ (b) pada isolator keadaan terpolusi semen basah pada suhu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Keberadaan bahan tak larut pada permukaan isolator menimbulkan distribusi embun air tak merata, karena bahan anorganik menangkap embun air (*hydrophilic*) dan membentuk gumpalan-gumpalan semen basah, setelah dilewati arus beberapa saat gumpalan tersebut mengering dan akibatnya muncul peluahan yang melintasi gumpalan-gumpalan tak larut tersebut. Pulsa-pulsa peluahan terlihat hampir merata sepanjang gelombang arus bocor $i(t)$ dengan magnituda yang kecil. Pada temperatur udara = $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, ESDD = $6.65 \cdot 10^{-4}\text{ mg cm}^{-2}$, RH = 88 %, NSDD = 5.53 mg cm^{-2} , $I(t)$ peak = 0.77 mA, THD mencapai 59.71 %. Arus bocor $I(t)$ meningkat dari 0.51 mA (kondisi semen kering) menjadi 0.77 mA (kondisi semen basah) karena semen mengandung material MgO, jika direaksikan dengan air (H_2O) maka menjadi *brucite* ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), *brucite* termasuk kedalam golongan basa sehingga meningkatkan konduktivitas lapisan kontaminan (terbentuknya larutan elektrolit).

6.1.4 Karakteristik Terpolusi Semen dan Garam

Pada temperatur udara = $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, ESDD = $8.08 \cdot 10^{-4}\text{ mg cm}^{-2}$, RH = 94.21 %, diperoleh $I(t)$ peak = 0.85 mA dan THD = 73.11 %. Lihat gambar 13. Pada kondisi pengotoran campuran garam dan semen arus bocor menurun dibandingkan dengan kondisi pengotoran garam, keadaan ini merupakan implikasi dari keberadaan garam yang homogen sedangkan semen mengakibatkan resistansi permukaan menjadi lebih besar sehingga arus bocor menjadi kecil.



Gambar (13) Bentuk gelombang $I(t)$ (a) dan spektrum frekuensi $i(f)$ (b) pada isolator keadaan terpolusi semen dan penyiraman garam pada suhu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Pada gelombang arus bocor terjadi peluahan pulsa arus bocor lebih besar dari pengotoran garam, peluahan yang terjadi pada setengah siklus (positif) menyebabkan timbul komponen harmonik genap dengan magnituda yang lebih besar. Hal ini juga dapat dilihat dari besaran nilai THD dimana dari perhitungan didapat nilai THD kondisi pengotoran garam dan semen ini lebih besar dibandingkan dengan pengujian kondisi lainnya. Pada temperatur udara = $27^{\circ}C$, ESDD = $9.9 \cdot 10^{-2}$ mg cm⁻², RH = 86.8 %, diperoleh $i(t)$ peak = 48.9 mA dan THD = 83.83 %.

Bab V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- A. Magnitud arus bocor dan THD pada isolator porselen jenis *suspension terpolusi* berat semakin meningkat seiring dengan peningkatan suhu.
- B. Kenaikan suhu sebesar $2^{\circ}C$ - $3^{\circ}C$ akan meningkatkan magnitudo arus bocor sebesar 0.1 mA-0.3 mA dan THD sebesar 10%-30%, namun belum diperoleh gambaran matematis untuk kasus ini.
- C. Magnituda arus bocor pada isolator porselen jenis *suspension* terbesar dihasilkan oleh kombinasi antara pengotoran garam dan semen.

2. Saran

Berikut dikemukakan beberapa saran untuk penelitian berikutnya :

1. Pengukuran arus bocor pada penelitian ini merupakan pengukuran untuk isolator dengan pengotoran tiruan (*Artificial Contaminant*). Guna mendapatkan data nyata dari lapangan maka perlu dilakukan pengujian arus bocor pada isolator yang terkontaminasi secara alamiah.
2. Untuk mendukung saran diatas perlu dikembangkan peralatan ukur yang terpasang ditempat yang dilengkapi dengan dataloger dan signal kondisioner.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Aulia, Firmansyah David, dkk, 2006 (accepted to be published), "Leakage Current Analysis On 20 kV Suspension Porcelain Insulator Contaminated by Salt Moisture And Cement Dust in Padang Area", ICPDAM, Bali
- [2]. Aulia, Firmansyah David, dkk, 2005, "Analisa Arus Bocor Pada Isolator Suspension Tipe Ball & Socket Saluran Transmisi 150 kV Akibat Pengotoran Uap Garam dan Debu Semen". Seminar Dana Rutin Unand, Padang
- [3]. Suwarno, Hary Darmawan, 2001, Pengukuran Arus Bocor Pada Isolator Dengan Sistem Pengukuran Berbasis Personal Komputer. FOSTU.ITB.Bandung.
- [4]. Suwarno, Hary Darmawan, 2001, Studi Bentuk Gelombang Arus Bocor Pada Isolator Keramik POS-PIN 20 kV dalam Berbagai Kondisi Lingkungan. Vol. 7 No 1. ITB.Bandung.
- [5]. Djoko Sedyadi, Tumiran, Hamzah Berahim, 2001, Efek Kontaminan Terhadap Rugi Daya Isolator Saluran Transmisi Tenaga Listrik.FOSTU.ITB.Bandung.
- [6]. Arismunandar, Kuwar, 1993 Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II Saluran Transmisi. PT Abadi.Pradya Paramitha.Jakarta.
- [7]. Penny,Lindfield, 1997, "Numerical Method Using Matlab", Hartnolls Limited, Bodmin.Cornwall England.
- [8]. A.Arismunandar, 1983, "Teknik Tegangan Tinggi Suplemen". Galia Indonesia. Jakarta. 1983.
- [9]. Dugan, Mcgranaghan, 1996, "Beaty. Electrical Power System Stability". Mcgraw-Hill. NewYork.
- [10]. V Kamaraju, 1995, "High Voltage Engineering". Mc-Graw Hill.India.
- [11]. M Farzaneh, T Baker et.al, 2003,"Insulator Icing Test Methods and Procedures A Position Paper Prepared by the IEEE Task Force on Insulator Icing Test Methods". Vol 18 No 4 October.IEEE.
- [12]. Svk TR 5 : 21, 2000, "Technical Guidelines For 400 kV Compact OH-Lines", September.