

**ARTIKEL PENELITIAN  
DOSEN MUDA**



**POLA ARUS BOCOR DAN TEGANGAN LEWAT DENYAR  
ISOLATOR PASANGAN LUAR EPOXY RESIN  
PADA JARINGAN DISTRIBUSI MENENGAH**

**Oleh :**

**MELDA LATIF, MT**

**DIBIYAI OLEH DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
SESUAI DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PEKERJAAN  
PENELITIAN NOMOR : 001/SP2H/PP/DP2M/III/2007  
TANGGAL : 29 MARET 2007**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ANDALAS  
OKTOBER, 2007**

**HALAMAN PENGESAHAN  
PENELITIAN DOSEN MUDA**

---

1. Judul Penelitian :  
Pola Arus Bocor Dan Tegangan Lewat Denyar Isolator Pasangan Luar Epoxy Resin Pada Jaringan Distribusi Menengah
2. Kategori Penelitian : Pengembangan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Seni
3. Ketua Peneliti
- 3.1 Data Pribadi
  - a. Nama Lengkap : Melda Latif, MT
  - b. Jenis Kelamin : P
  - c. NIP/Golongan : 132 206 812/IIIb
  - d. Strata/Jabatan Fungsional : S2/Asisten Ahli
  - e. Jabatan Struktural : -
  - f. Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
  - g. Bidang Ilmu : TEKNOLOGI
  - h. Alamat Kantor : Jurusan Teknk Elektro, FT, Unand Kampus Limau Manis
  - i. Telepon/Faks/E-mail : 0751-72548/0751-72566/melda\_latif@ft.unand.ac.id
  - j. Alamat Rumah : Jl. Harapan no.3, Padang 25177
  - k. Telepon/Faks : 0751-35953
- 3.2 Mata Kuliah yang diampu dan jumlah sks
  - a. Mata Kuliah I : Bahan-bahan Listrik 2 sks
  - b. Mata Kuliah I : Elektronika Daya 3 sks
4. Jumlah Anggota Peneliti : 1 orang.
  - a. Nama Anggota : Nofridodi, ST NIP. 132283635
5. Kerjasama dengan institusi lain : -
6. Lokasi Penelitian : Lab. Teknik Tegangan Tinggi, FT.Unand
7. Jangka Waktu Penelitian : 10 bulan.
7. Pembiayaan
  - Biaya diajukan ke DIKTI : Rp. 10.000.000,-

Padang, 31 Oktober 2007

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik UNAND

Ketua Peneliti,

Febrin Anas Ismail, Dr.Eng.  
NIP.:131 784 924

Melda Latif, MT  
NIP. 132 206 812

Menyetujui  
Ketua Lembaga Penelitian Universitas Andalas

Prof. Dr. Ir.Helmi, MSc  
NIP : 131 474 873

# POLA ARUS BOCOR DAN TEGANGAN LEWAT DENYAR ISOLATOR PASANGAN LUAR EPOXY RESIN PADA JARINGAN DISTRIBUSI MENENGAH

## RINGKASAN

Isolator polimer telah banyak digunakan sebagai pengganti isolator keramik dan isolator gelas. Ini disebabkan karena isolator polimer mempunyai beberapa kelebihan, antara lain mempunyai sifat menolak air (*hydrophobicity*), mudah dibawa karena beratnya lebih ringan, tidak memerlukan perawatan yang tinggi, sehingga biaya pemeliharaan tidak begitu besar

Penelitian ini menyajikan pola arus bocor dan tegangan lewat denyar isolator pasangan luar polimer Epoxy Resin pada jaringan distribusi menengah. Sebagai sampel uji digunakan isolator polimer Epoxy Resin 20 kV berbentuk pin dengan *leakage distance* 40 cm dan mempunyai berat 1,8 kg. Eksperimen menggunakan tegangan bolak balik dengan frekuensi 50 Hz. Untuk eksperimen pola arus bocor, kabut bersih dan kabut garam dengan konduktivitas menengah (800  $\mu\text{S/cm}$ ) dan konduktivitas sangat berat (2100  $\mu\text{S/cm}$ ) digunakan. Sedangkan eksperimen tegangan lewat denyar hanya kabut bersih yang diberikan ke dalam chamber uji. Kelembaban rendah (50-60 %), kelembaban sedang (70-80 %) dan kelembaban tinggi (85-95 %) diberikan pada setiap eksperimen. Isolator bersih dan isolator terpolutan dengan konduktivitas ringan (300  $\mu\text{S/cm}$ ), konduktivitas menengah (600  $\mu\text{S/cm}$ ) dan konduktivitas berat (1200  $\mu\text{S/cm}$ ) diberikan pada eksperimen pola arus bocor. Untuk eksperimen tegangan lewat denyar digunakan isolator terpolutan sangat berat dengan konduktivitas 2600  $\mu\text{S/cm}$  dan 4300  $\mu\text{S/cm}$ .

Beberapa Software digunakan untuk menganalisa data besaran dan gelombang arus bocor yang melalui isolator uji. Pada eksperimen pola arus bocor diketahui bahwa temperatur tinggi dan kelembaban tinggi pada isolator terpolutan menengah dan berat mempunyai pengaruh yang sangat besar untuk terjadinya peristiwa pita kering (*dryband*). Tegangan lewat denyar terjadi pada isolator terpolutan 2600  $\mu\text{S/cm}$  dengan kelembaban tinggi dan isolator terpolutan 4300  $\mu\text{S/cm}$  dengan kelembaban rendah dan kelembaban tinggi. Kejadian lewat denyar terjadi dalam waktu 1 menit, 10 detik, dimana kejadian lewat denyar tersebut ditandai dengan pelepasan busur api (*arching*) di beberapa permukaan isolator. Untuk isolator bersih tegangan lewat denyar tidak terjadi walaupun tegangan uji sudah dinaikkan sampai 80 kV. Ini membuktikan bahwa isolator uji mempunyai sifat menolak air (*hydrophobicity*) yang masih bagus.

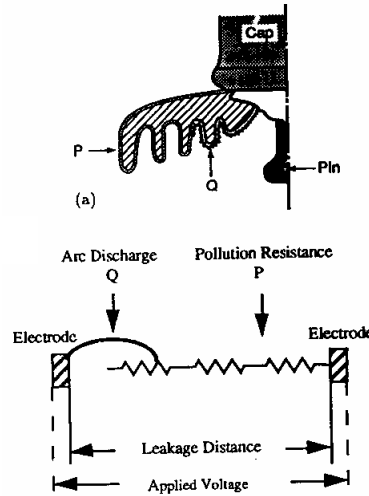
Kata kunci: Isolator polimer, Epoxy Resin 20 kV, arus bocor, kabut, pengkondisian lingkungan, gelombang harmonisa, THD, tegangan lewat denyar, flashover, polutan.

## I. PENDAHULUAN

Isolator pasangan luar merupakan komponen yang sangat penting pada sistem tenaga listrik seperti pada gardu induk, jaringan transmisi dan distribusi. Studi yang mendalam dan pengetahuan praktis tentang isolator merupakan hal yang sangat diperlukan bagi para ilmuwan di bidang sistem tenaga listrik. Pada awalnya, isolator terbuat dari bahan keramik dan gelas. Kemudian tahun 1963, isolator polimer dikembangkan dan desain serta pabrikasinya mengalami peningkatan terus. Isolator polimer juga dikenal dengan nama isolator non-keramik atau isolator komposit.

Banyak peneliti yang telah menggunakan arus bocor sebagai indikator unjuk kerja permukaan isolator dengan metode analisis yang ditawarkan [1-2, 4-19]. Piah [13] memodelkan arus bocor sebagai fungsi medan listrik, kelembaban dan *stress* lingkungan lainnya dengan teknik analisis dimensi. Zhicheng [14] melakukan penelitian terhadap enam jenis isolator yang memiliki ukuran dan bentuk tertentu. Hasil pengujian memperlihatkan hubungan yang pasti antara intensitas medan *flashover* dan nilai maksimum arus bocor. Amarah [15] menyatakan bahwa variasi *envelope* arus bocor memberi informasi lebih baik mengenai unjuk kerja isolator daripada nilai puncak arus bocor sesaat. Permanasari [16] menyatakan bahwa arus bocor sangat berkaitan erat dengan kondisi isolator dan hasil penelitian menyatakan bahwa perkalian arus bocor dan THD memberikan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap kondisi permukaan isolator. Yong Zhu [18] menggunakan model dinamis 3 dimensi untuk mempelajari bentuk gelombang arus bocor. Gorur [19] menggunakan kabut garam untuk mempelajari unjuk kerja bahan isolasi polimer. Kabut ringan (konduktivitas 250  $\mu\text{S/cm}$ ) dan kabut berat (konduktivitas 1000  $\mu\text{S/cm}$ ) diberikan di dalam suatu ruang uji.

Polutan yang menempel pada isolator akan mengakibatkan terjadinya kenaikan konduktivitas isolator, kenaikan arus bocor, pemendekan *leakage distance*, pembentukan pita kering (*dry band formation*), *arching* dan *flashover* [1].



Gambar 2.2 Bagan pita kering pada isolator yang terpolutan [1]

Pada kondisi lingkungan dengan polusi tinggi dan kelembaban tinggi, lapisan polutan yang menempel pada permukaan terjadi pembasahan sehingga arus bocor yang mengalir dapat menyebabkan pemanasan polutan pada lapisan. Lapisan ini dapat membentuk pita kering (*dry band*) akibat dialiri arus bocor yang terus menerus. Kondisi ini pada tegangan tertentu dapat menyebabkan pelepasan muatan melintasi pita kering. Busur pelepasan muatan dapat memanjang sehingga terjadi flashover yang melalui seluruh permukaan isolator.

FFT (*Fast Fourier Transform*) berfungsi untuk mentransformasi domain waktu suatu gelombang menjadi frekuensi, dimana komponen frekuensi dari arus bocor dapat diuraikan berdasarkan magnitude dan frekuensi harmonisnya. Salah satu parameter yang bisa dimanfaatkan dengan menggunakan FFT adalah THD. THD (*Total Harmonic Distortion*) menyatakan besar distorsi yang dialami gelombang arus bocor dengan persamaan sbb.:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad \dots \quad (2.1)$$

dimana,

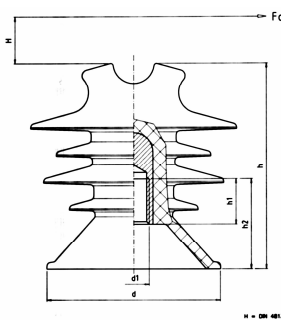
$I_1$  = komponen fundamental atau harmonisa ke 1

$I_n$  = komponen harmonisa ke n

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian pola arus bocor dan tegangan lewat denyar dilakukan di laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Universitas Andalas menggunakan ruangan uji sesuai dengan IEC 507. Pada pengujian ini, isolator Epoxy Resin ditempatkan di ruangan berkabut bersih dan ruangan berkabut garam dengan beberapa kondisi yang dilakukan, seperti pada beberapa jenis kelembaban, temperatur dan kontaminasi.

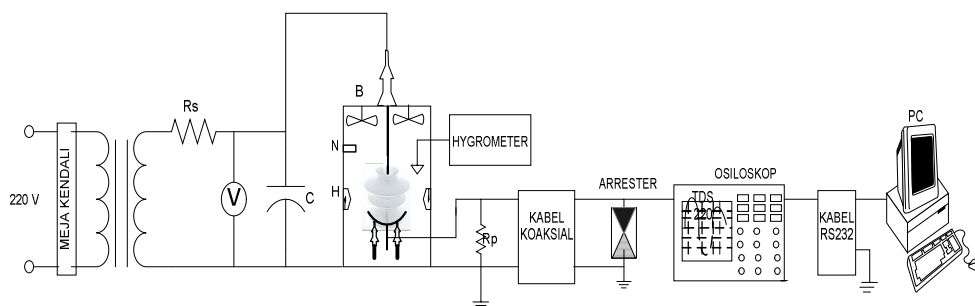
Isolator uji berbentuk pin dan skemanya dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema Isolator Pasangan Polimer Tegangan Distribusi Menengah

Tabel 3.1 Bentuk dan ukuran Isolator uji

Tipe	Weight	Dimensi		Creepage Distance	Nilai Nominal	
		D	h		F <sub>o</sub>	Tensile
Pin 20 kV	1,8 kg	135 mm	160 mm	400 mm	10 kN	20 kN



Gambar 3.2 Rangkaian pengujian

Pada Gambar 3.2 diperlihatkan rangkaian pengujian yang dilakukan.

Di dalam ruang uji dibuat kondisi seperti kondisi isolator di lapangan sesungguhnya, baik itu di daerah pantai laut, industri atau pegunungan. Dengan demikian, maka kabut yang diberikan adalah kabut bersih dan kabut garam. Polutan yang menempel di permukaan isolator mulai dari polutan ringan sampai polutan berat. Kelembaban ruang uji diatur dari kelembaban rendah (50%-60%), kelembaban sedang (70%-80%) dan kelembaban tinggi (85%-95%). Demikian juga temperatur ruang uji diatur pada temperatur ruang dan temperatur variabel.

Untuk isolator terpolutan dipilih polutan dari konduktivitas rendah sampai konduktivitas sangat berat. Nilai konduktivitas ringan biasanya 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dan konduktivitas tinggi 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  [19]. Pada pengujian ini polutan buatan yang diberikan pada permukaan isolator Epoxy Resin adalah pada nilai konduktivitas ringan (300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), konduktivitas menengah (600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), konduktivitas berat (1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dan konduktivitas sangat berat (2600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dan 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Konduktivitas sangat berat ditujukan untuk pengujian tegangan lewat denyar.

### III. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

#### **III.1 Pengujian Kabut Bersih**

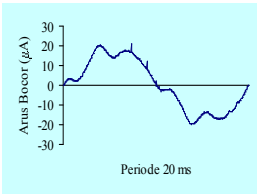
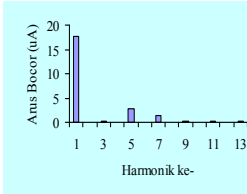
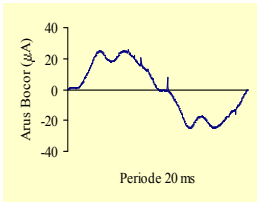
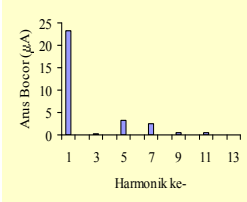
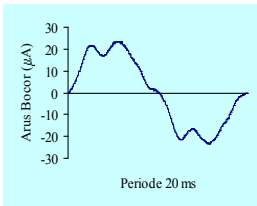
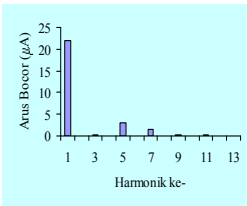
Pada pengujian kabut bersih, isolator Epoxy Resin berada dalam kondisi bersih dan kondisi polutan dengan berbagai macam kondisi lingkungan di dalam ruang uji.

### III.1.1 Pola Arus Bocor Dengan Kenaikan Tegangan Uji

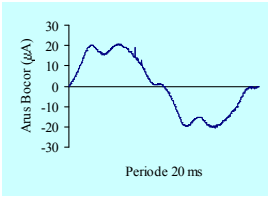
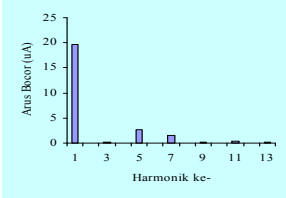
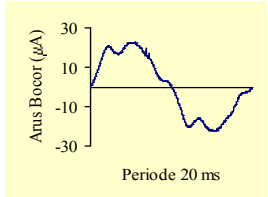
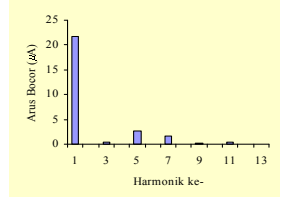
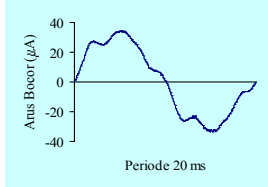
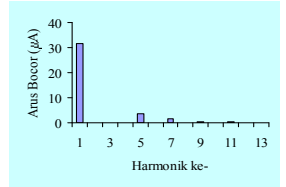
Bila dibandingkan nilai-nilai arus bocor pada kelembaban rendah, sedang dan tinggi, perbedaannya tidaklah begitu mencolok, ini disebabkan karena isolator epoxy resin masih mempunyai sifat hidrofobik yang baik. Pada Tabel 4.1 diperlihatkan gelombang arus bocor dan kandungan harmonik arus bocor yang mengalir pada isolator Epoxy Resin 20 kV pada pengujian kabut bersih dengan tegangan kerja 12 kV. Terlihat bahwa kelembaban rendah mempunyai komponen harmonisa yang lebih banyak dibanding kelembaban tinggi. Ini juga disebabkan karena pada kelembaban tinggi, isolator menjadi konduktif akibat adanya uap air pada permukaan isolator. Dengan semakin tingginya kelembaban lingkungan isolator, arus bocor yang dihasilkan mengarah ke bentuk sinusoidal linear, atau dengan kata lain komponen harmonik yang terbentuk semakin berkurang.

Tabel 4.1 Gelombang arus bocor pengujian kabut bersih dengan tegangan 12 kV

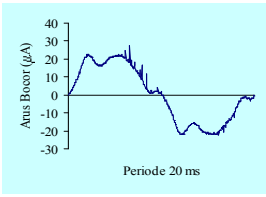
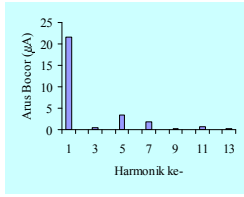
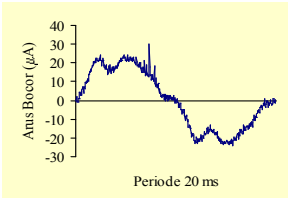
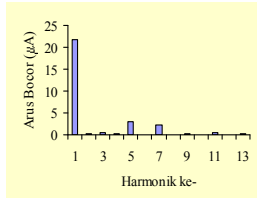
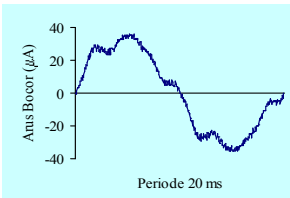
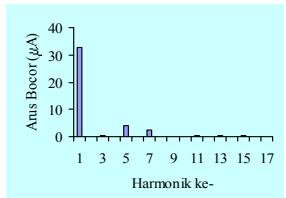
i. Kabut bersih, isolator bersih

Kelembaban	Gelombang Harmonisa	Spektrum Harmonisa	THD Imax
Rendah			26% 22,4µA
Sedang			25% 25,6µA
Tinggi			22% 24µA

ii. Kabut bersih, isolator polutan ringan 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$

Kelembaban	Gelombang Harmonisa	Spektrum Harmonisa	THD Imax
Rendah			23% 24 $\mu\text{A}$
Sedang			21% 23,2 $\mu\text{A}$
Tinggi			19% 35,2 $\mu\text{A}$

iii. Kabut bersih, isolator polutan menengah 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$

Kelembaban	Gelombang Harmonisa	Spektrum Harmonisa	THD Imax
Rendah			27% 27,6 $\mu\text{A}$
sedang			22% 31,6 $\mu\text{A}$
Tinggi			21% 36,8 $\mu\text{A}$

Dari Tabel 4.1 terlihat bahwa untuk kelembaban rendah, THD yang dihasilkan lebih besar dari kelembaban sedang dan tinggi. Tapi, hal itu tidaklah menjamin bahwa unjuk kerja permukaan isolator pada kelembaban sedang dan tinggi lebih aman dari kelembaban rendah, justru kelembaban tinggi diperlukan alat proteksi yang lebih akurat, hal ini disebabkan karena dengan tegangan uji yang sama, pada kelembaban tersebut arus bocor puncak (arus maksimum) lebih besar dari kelembaban rendah, sehingga mempercepat terjadinya

tegangan lewat denyar (*flashover*). Apalagi bila hal itu didukung oleh lingkungan dari isolator berada. Semakin terkontaminasi atau dengan kata lain semakin banyak polutan menempel di permukaan isolator maka arus bocor yang mengalir di permukaan isolator akan semakin besar.

Tabel 4.2 THD (%) arus bocor pada pengujian kabut bersih dengan kelembaban berbeda

Teg. uji (kV)	Isolator bersih			Isolator dengan polutan 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$			Isolator dengan polutan 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
	RH rendah	RH sedang	RH tinggi	RH rendah	RH sedang	RH tinggi	RH rendah	RH sedang	RH tinggi
5	23	22	18	19	20	16	23	14	11
10	25	23	21	20	18	18	26	17	13
12	26	25	22	23	21	19	27	18	14
15	27	25	22	25	22	20	29	20	16
20	29	28	26	27	25	21	23	23	19
25	32	31	26	30	26	25	36	26	19
30	33	33	27	31	24	21	37	28	24
35	37	29	28	29	27	21	38	30	25
40	37	33	31	35	27	22	42	32	28
45	40	38	32	33	26	21	42	31	27
50	41	39	32	35	29	29	43	34	28

Pada Tabel 4.2 diperlihatkan THD (*Total Harmonic Distortion*) dari setiap kenaikan tegangan uji pada isolator bersih, isolator terpolutan ringan dan isolator terpolutan berat dengan kelembaban rendah sampai kelembaban tinggi. Terlihat bahwa semakin naik tegangan uji, THD yang dihasilkan juga semakin naik. Ini disebabkan karena semakin naik tegangan uji, arus maksimum yang dihasilkan juga semakin naik. Diketahui bahwa arus maksimum arus bocor sesaat terbentuk dari komponen-komponen harmonik arus bocor. THD merupakan pembagian dari penjumlahan akar kuadrat komponen-komponen harmonik dengan komponen fundamental. Jadi dengan naiknya tegangan uji, komponen-komponen harmonik semakin banyak dan komponen fundamental juga semakin naik.

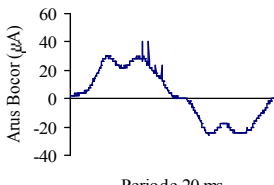
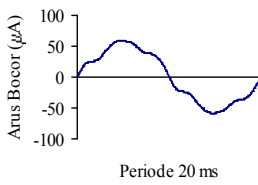
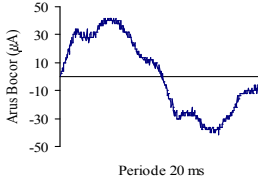
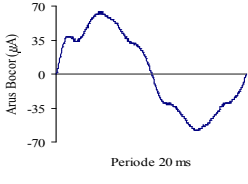
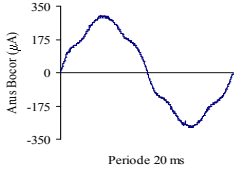
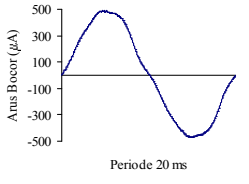
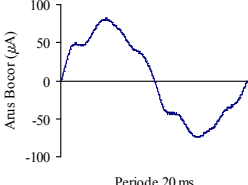
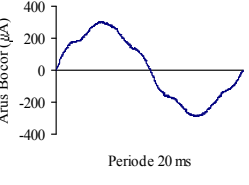
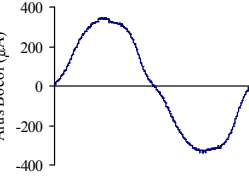
Umumnya THD arus bocor sesaat yang dihasilkan dari setiap tegangan uji pada kelembaban rendah mempunyai THD yang lebih besar dari kelembaban sedang dan tinggi. Ini bisa disebabkan karena pengaruh dari tingkat kelembaban. Pada kelembaban rendah arus bocor yang dihasilkan mempunyai komponen harmonisa yang lebih banyak dibanding kelembaban tinggi, karena pada kelembaban tinggi isolator menjadi konduktif akibat adanya uap air yang menempel pada permukaan isolator. Dengan semakin tingginya kelembaban lingkungan isolator komponen harmonik arus bocor yang terbentuk semakin berkurang. Ini dapat dilihat di Tabel 4.2, THD kondisi kering lebih besar dari kondisi setengah basah dan basah.

#### IV.1.2 Pola Arus Bocor Dengan Kenaikan Temperatur

Pada pengujian ini temperatur ruang uji disetting mulai dari temperatur ruang (25°C) sampai dengan 48°C dengan menggunakan heater. Kelembaban tinggi dipilih dalam pengujian ini. Tegangan kerja 12 kV digunakan dalam pengujian ini. Semakin naik temperatur, nilai arus bocor yang mengalir di permukaan semakin besar, apalagi didukung oleh kelembaban tinggi. Dengan semakin dinaikannya temperatur, uap air di dalam ruang uji semakin banyak, dan kaca penutup ruang uji menjadi berembun karena uap air panas menempel di permukaan kaca. Permukaan isolator semakin banyak ditutupi oleh uap air, isolator menjadi konduktif, nilai arus bocor yang mengalir di permukaan isolator semakin besar dan gelombang arus bocor yang dihasilkan menuju ke sinusoidal murni atau dengan kata lain THD gelombang arus bocor yang dihasilkan semakin kecil.



Tabel 4.3 Gelombang arus bocor dengan kenaikan temperatur, kelembaban tinggi

Isolator bersih	Isolator Polutan 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Isolator Polutan 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 <p>30°C THD = 27% <math>I_{\text{max}}=46\mu\text{A}</math> <math>I_1=25,81\mu\text{A}</math></p>	 <p>30°C THD = 15% <math>I_{\text{max}}=60\mu\text{A}</math> <math>I_1=56,28\mu\text{A}</math></p>	 <p>30°C THD = 23% <math>I_{\text{max}}=37,05\mu\text{A}</math> <math>I_1=42\mu\text{A}</math></p>
 <p>44°C THD=18% <math>I_{\text{max}}=64\mu\text{A}</math> <math>I_1=56,75\mu\text{A}</math></p>	 <p>44°C THD=12% <math>I_{\text{max}}=304\mu\text{A}</math> <math>I_1=276,46\mu\text{A}</math></p>	 <p>44°C THD=9% <math>I_{\text{max}}=496\mu\text{A}</math> <math>I_1=467,04\mu\text{A}</math></p>
 <p>46 °C THD = 16% <math>I_{\text{max}}=82\mu\text{A}</math> <math>I_1=72,54\mu\text{A}</math></p>	 <p>46 °C THD = 12% <math>I_{\text{max}}=304\mu\text{A}</math> <math>I_1=277,46</math></p>	 <p>46 °C THD = 10% <math>I_{\text{max}}=344\mu\text{A}</math> <math>I_1=334,972\mu\text{A}</math></p>

Tabel 4.3 memperlihatkan bentuk gelombang arus bocor yang dihasilkan dari kenaikan temperatur pada kelembaban tinggi, tegangan kerja 12 kV untuk pengujian kabut bersih.

### III.2 Pengujian Kabut Garam

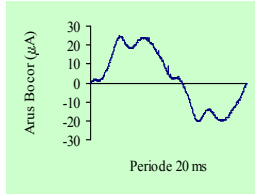
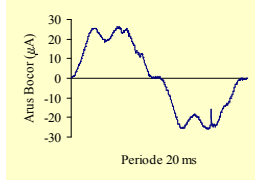
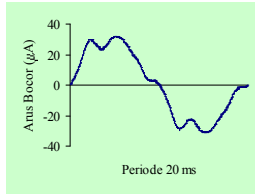
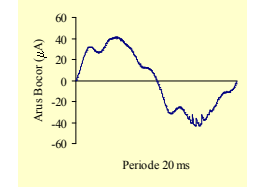
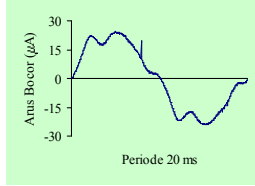
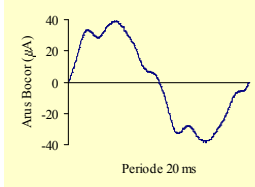
Kabut garam yang digunakan pada pengujian ini dilewatkan melalui *nozzle* ke dalam ruang uji. Konduktivitas kabut menengah (800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dan konduktivitas kabut sangat berat (2100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) digunakan untuk pengujian ini. Untuk kelembaban rendah, kabut garam disemprotkan dulu ke dalam ruang uji, sebelum pengujian dilakukan, karena apabila dilewatkan melalui *nozzle* bersamaan dengan pengujian, kelembaban ruang uji menjadi meningkat, sehingga kelembaban rendah tidak memungkinkan dilakukan dengan cara demikian.

#### III.2.1 Pola Arus Bocor Dengan Kenaikan Tegangan Uji

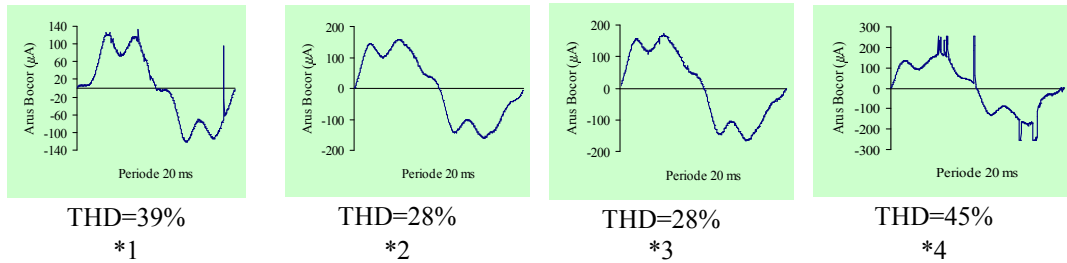
Arus bocor rms yang tertera di osiloskop besarnya sama dengan nilai arus bocor komponen fundamental dibagi dengan akar dua. Pada pengujian dengan kabut garam pada tegangan uji yang berbeda, komponen-komponen harmonik yang terkandung pada setiap pengujian lebih besar dari pengujian kabut bersih. Ini bisa

disebabkan karena adanya partikel-partikel garam dari kabut yang mempengaruhi unjuk kerja permukaan isolator uji. Pada tegangan kerja 12 kV, komponen harmonik ke-5 mempunyai nilai yang lebih tinggi dari komponen-komponen lain, mempunyai nilai dari 2 sampai 6  $\mu\text{A}$ . Ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Gelombang dan arus bocor komponen fundamental dan komponen ke-5 pada tegangan kerja 12 kV

Isolator	Kelembaban	$I_1(\mu\text{A})$	$I_5(\mu\text{A})$	Gelombang
Isolator Bersih	Rendah	21.1604	3.3716	
	Tinggi	24.322	3.7276	
Isolator Terpolutan 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Rendah	29.726	4.12	
	Tinggi	38.416	5.2208	
Isolator Terpolutan 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Rendah	23.0544	2.9052	
	Tinggi	36.5824	4.6752	

Pada tegangan uji 25 kV sampai 50 kV, lebih banyak lagi komponen-komponen harmonik yang terkandung, dimana komponen selain komponen lima mempunyai nilai arus bocor lebih dari 1  $\mu\text{A}$ , sedangkan komponen lima mempunyai nilai antara 22  $\mu\text{A}$  – 37  $\mu\text{A}$ . Jadi bisa dikatakan bahwa gelombang harmonisa arus bocor yang dihasilkan besarnya sangat dipengaruhi oleh frekuensi 250 Hz. Pada Pada Gambar 4.1 diperlihatkan bentuk gelombang yang dihasilkan pada tegangan 50 kV dengan kelembaban tinggi di dalam ruang uji.



Gambar 4.1 Gelombang arus bocor pada tegangan uji 50 kV kelembaban tinggi

Dengan pengujian 50 kV, seperti terlihat pada Gambar 4.1 beberapa bentuk gelombang pada isolator bersih (\*1), isolator terpolutan ringan  $300 \mu\text{S}/\text{cm}$  (\*2), isolator terpolutan menengah  $600 \mu\text{S}/\text{cm}$  (\*3), dan isolator terpolutan berat  $1200 \mu\text{S}/\text{cm}$  (\*4) diperlihatkan. Isolator \*1, \*2 dan \*3 menggunakan kabut dengan konduktivitas  $800 \mu\text{S}/\text{cm}$ , sedangkan isolator \*4 menggunakan kabut dengan konduktivitas  $2100 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Di sini diperlihatkan bagaimana gelombang arus bocor yang terjadi bila ruang uji diberi kabut garam dengan kelembaban tinggi (85-95%). THD yang dihasilkan cukup besar, sampai menuju 45% pada isolator polutan berat (konduktivitas  $1200 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) dan arus bocor maksimum yang mengalir pada isolator ini juga sangat besar dibanding isolator 1, 2 dan 3, yakni  $254 \mu\text{A}$ . Apabila pengujian dilanjutkan, kemungkinan besar bisa menyebabkan terjadinya *sparkover* yang akhirnya menghasilkan tegangan lewat denyar (*flashover*).

Untuk melihat besar THD setiap kenaikan tegangan uji pada isolator bersih, isolator terpolutan ringan dan terpolutan menengah dengan kabut yang mempunyai konduktivitas menengah ( $800 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) dengan kelembaban rendah sampai kelembaban tinggi, dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 THD (%) arus bocor pada pengujian kabut garam dengan konduktivitas 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dengan kelembaban berbeda

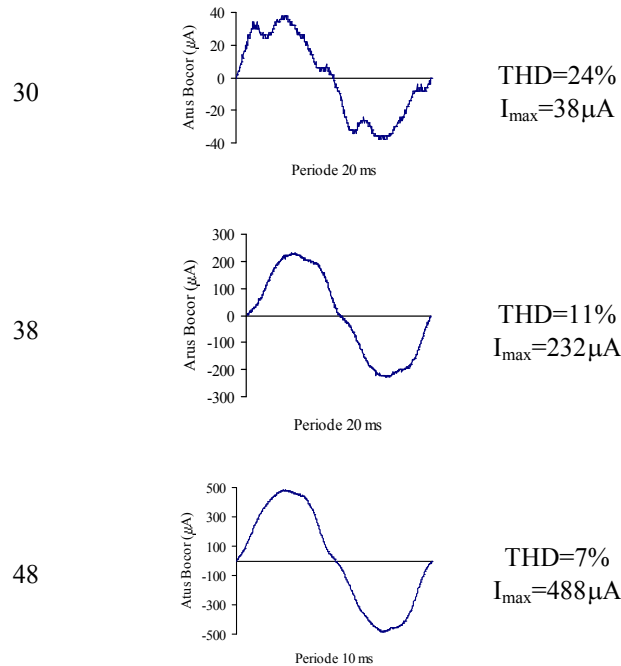
Teg. uji (kV)	Isolator bersih			Isolator dengan polutan 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$			Isolator dengan polutan 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$		
	RH rendah	RH sedang	RH tinggi	RH rendah	RH sedang	RH tinggi	RH rendah	RH sedang	RH tinggi
5	5	23	20	14	20	20	18	17	17
10	26	27	21	16	24	24	23	17	20
12	26	28	25	16	25	22	22	19	20
15	27	30	25	17	29	24	24	22	21
20	29	32	25	18	29	27	25	23	23
25	31	34	32	20	31	30	28	25	25
30	31	35	35	22	32	30	29	25	26
35	35	38	36	22	31	30	29	26	26
40	37	39	38	23	34	33	31	28	25
45	35	38	38	22	33	30	32	27	31
50	37	41	39	20	35	28	32	27	28

Seperti pada pengujian kabut bersih, pada kabut garam persentase THD yang dihasilkan semakin besar dengan naiknya tegangan uji. Tetapi pada kasus tertentu, pada tegangan uji 50 kV, ada THD yang naik dari tegangan 45 kV, ada yang konstan dan ada yang turun. Untuk presentase THD yang turun dari 45 kV ke 50 kV, nilai perbedaannya tidaklah begitu jauh, hanya sekitar 2%-3%. Ini disebabkan karena jumlah komponen-komponen harmonik yang dikandung oleh arus bocor sesaat. Misalnya pada isolator terpolutan 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , persentase THD untuk tegangan uji 50 kV adalah 28% dimana tegangan sebelumnya mempunyai THD 31%, berarti komponen harmonik yang dikandung oleh tegangan uji 45 kV lebih banyak dari 50 kV dan arus fundamental pada 45 kV juga lebih kecil dari 50 kV.

### III.2.2 Pola Arus Bocor Dengan Kenaikan Temperatur

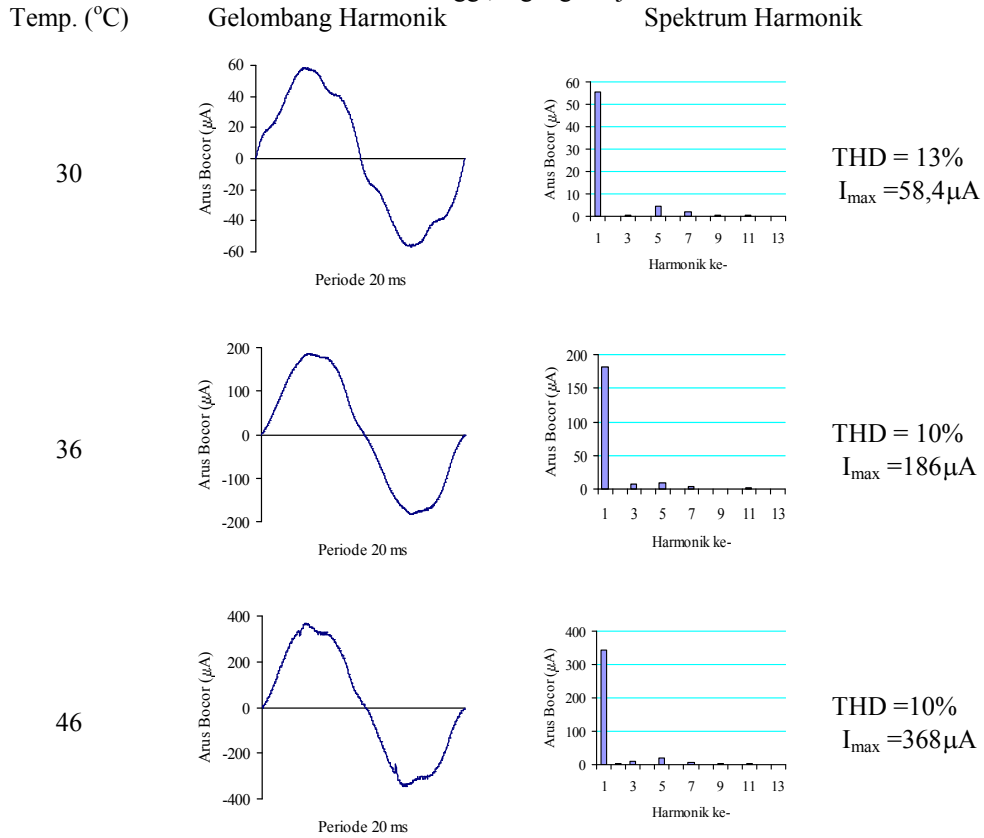
Bila dianalisa bentuk gelombang yang dihasilkan pada isolator polutan ringan (konduktivitas 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), dimana dengan kenaikan temperatur, arus maksimum arus bocor yang mengalir naik dari 38  $\mu\text{A}$  menjadi 488  $\mu\text{A}$  dari temperatur 30°C ke 48°C pada tegangan kerja 12 kV. Kejadian ini tidaklah bisa disepelekan, karena semakin naiknya arus bocor, kemungkinan munculnya percikan api di permukaan isolator bisa saja terjadi. Apalagi ini juga didukung oleh kelembaban tinggi di dalam ruang uji, yang menyebabkan uap air banyak terkumpul di permukaan ruang uji, sehingga isolator semakin konduktif. Kaca ruang uji semakin berembun akibat adanya uap panas yang muncul di dalam ruang uji. Bentuk gelombang arus bocor ini bisa dilihat di Tabel 4.6. Dari Tabel 4.6, gelombang yang dihasilkan pada 48°C mengarah ke bentuk gelombang sinusoidal murni. Bisa dikatakan bahwa isolator bersifat resistif, dengan arus maksimum yang cukup besar. Sedangkan besar arus komponen fundamental yang dihasilkan merupakan perkalian dari arus rms yang terbaca di osiloskop dikali dengan  $\sqrt{2}$ .

Tabel 4.6 Kenaikan temperatur pada isolator polutan 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,  
 konduktivitas kabut 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , kelembaban tinggi  
 Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) Gelombang Harmonik



Pada kabut sangat berat (konduktivitas 2100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), bentuk gelombang harmonisa arus bocor yang dihasilkan pada isolator terpolutan berat (konduktivitas 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dengan tegangan uji 10 kV, dengan kenaikan temperatur dari 30 $^{\circ}\text{C}$  sampai 48 $^{\circ}\text{C}$ , bentuk yang dihasilkan sudah mengarah ke sinusoidal murni. Ini disebabkan karena kabut yang sangat berat dan kelembaban yang tinggi pada ruang uji menghasilkan gelombang dengan THD yang kecil dari 14%. Bentuk dan spektrum harmonik dari kabut sangat berat dapat dilihat di Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Kabut dengan konduktivitas 2100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , isolator terpolutan 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , kelembaban tinggi, tegangan uji 10 kV



Gambar 4.2 Isolator Epoxy Resin Terpolutan Berat

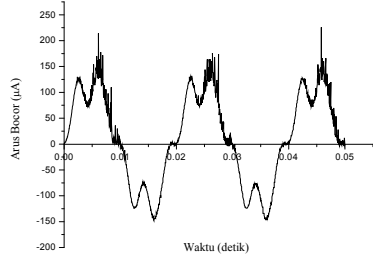
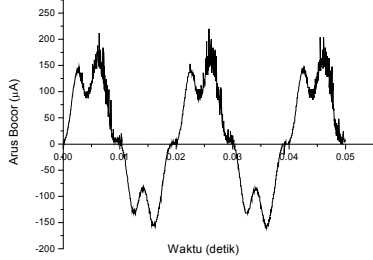
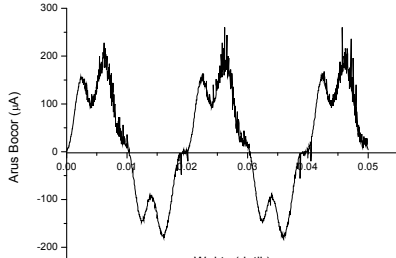
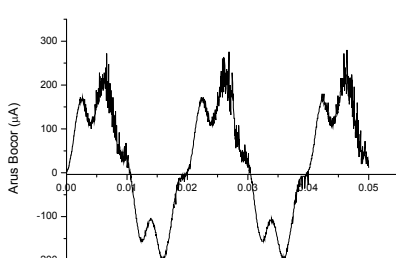
### III.3 Pengujian Lewat Denyar (*Flashover*)

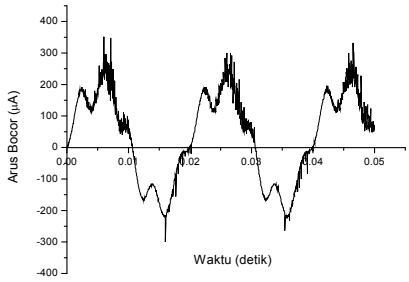
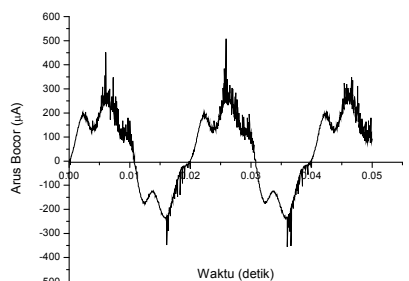
Pengujian lewat denyar (*flashover*) dilakukan pada isolator bersih dan isolator terpolutan sangat berat dengan menggunakan kabut bersih yang disemprotkan melalui *nozzle* ruang uji. Bentuk gelombang dan data-data arus bocor yang terjadi sebelum *flashover* diamati dan dianalisa. Polutan yang digunakan pada pengujian ini adalah larutan kaolin dengan konduktivitas sangat berat yaitu 2600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dan 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### III.3.1 Pengujian Lewat Denyar Pada Isolator Bersih

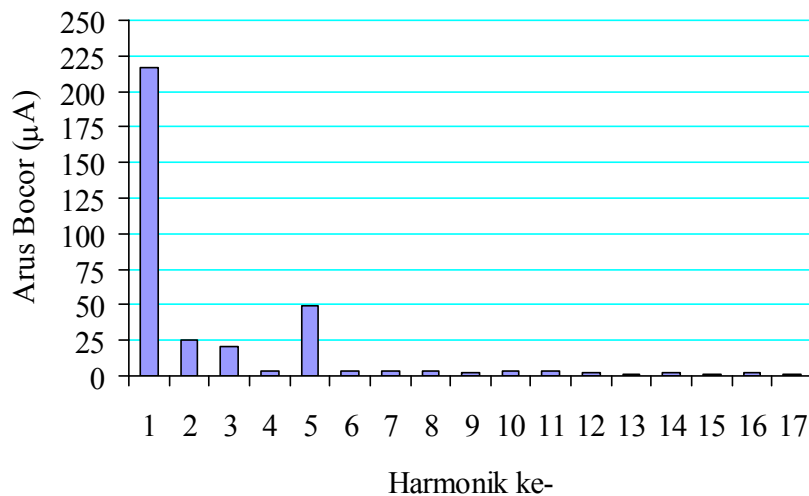
Pertama-tama diperhatikan bentuk gelombang yang terjadi pada isolator bersih dengan kelembaban rendah (50-60 %) di dalam ruang uji. Bentuk gelombang dengan tegangan uji berbeda dapat dilihat di Tabel 4.8. Tegangan uji dinaikkan setiap 5 kV, dan dilakukan dengan sangat hati-hati sekali, karena osiloskop merupakan komponen elektronika, dan tidak bisa diaktifkan saat terjadinya lewat denyar. Arus maksimum pada kelembaban rendah ini mulai dari 226  $\mu\text{A}$  sampai 508  $\mu\text{A}$ , tapi lewat denyar belum terjadi. THD (Total Harmonic Distortion) didapat dari analisa FFT. Besaran THD yang dihasilkan cukup besar, yakni dari 39% sampai 44%.

Tabel 4.8 Gelombang arus bocor sebelum lewat denyar pada isolator bersih, kelembaban rendah

No.	Teg. Uji (kV)	Gelombang Harmonisa	THD $I_{\max}$
1	55		40% 226 $\mu\text{A}$
2	60		39% 228 $\mu\text{A}$
3	65		40% 272 $\mu\text{A}$
4	70		38% 280 $\mu\text{A}$

5	75		40% 380µA
6	80		44% 508µA

Sebenarnya besar arus bocor komponen fundamental pada pengujian dengan kelembaban rendah ini tidaklah sampai 250  $\mu\text{A}$ . Nilainya antara 128  $\mu\text{A}$  sampai dengan 220  $\mu\text{A}$ . Yang menyebabkan arus maksimum sampai dengan 508  $\mu\text{A}$ , karena mempunyai komponen-komponen harmonik, dimana komponen harmonik ganjil mempunyai nilai yang lebih besar, terutama pada komponen ke-5 (frekuensi 250 Hz).



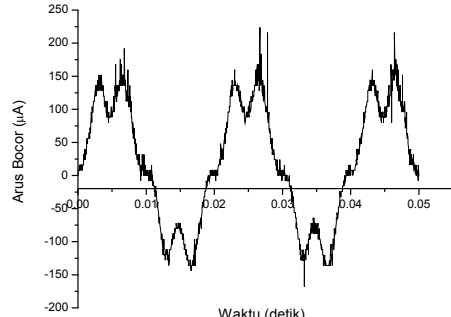
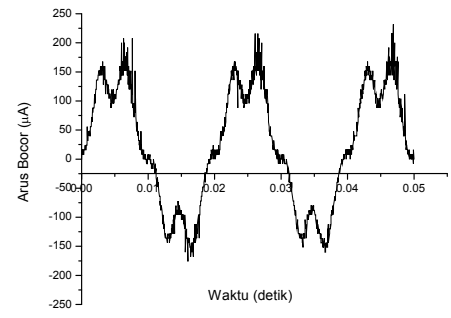
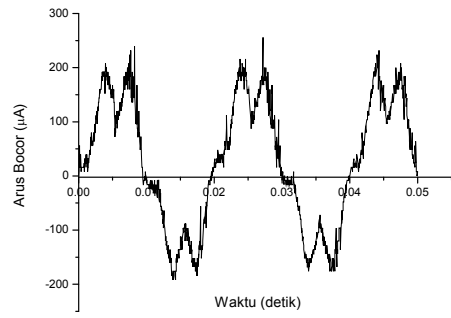
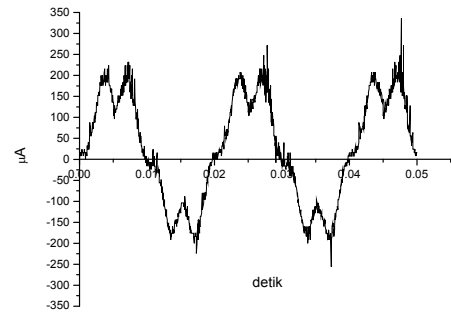
Gambar 4.3 Spektrum Harmonik, Kelembaban Rendah, Tegangan uji 80 kV

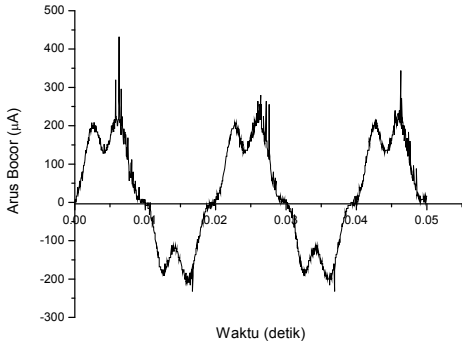
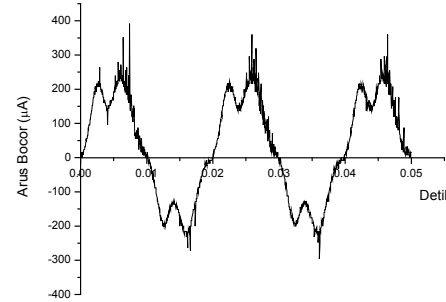
Untuk tegangan uji 80 kV, kelembaban rendah spektrum harmonik yang dihasilkan dapat dilihat di Gambar 4.3. Arus bocor fundamental mempunyai nilai 217,108  $\mu\text{A}$ , sedangkan nilai terbesar komponen harmonik adalah arus bocor komponen harmonik ke-5, 49,204  $\mu\text{A}$ , disusul harmonik ke-2; 25,528  $\mu\text{A}$ , harmonik ke-3; 20,72  $\mu\text{A}$  dan harmonik ke-11; 3,996  $\mu\text{A}$ , harmonik ke-10; 3,676  $\mu\text{A}$  dan seterusnya.

Untuk kelembaban tinggi (85-95 %), isolator bersih, bentuk gelombang yang dihasilkan dengan tegangan uji dari 55 kV sampai 80 kV diperlihatkan pada Tabel 4.9.



Tabel 4.9 Gelombang arus bocor sebelum lewat denyar pada isolator bersih, kelembaban tinggi

No.	Teg. Uji (kV)	Gelombang Harmonisa	THD $I_{max}$
1	55		38% 224µA
2	60		30% 232µA
3	65		32% 256µA
4	70		38% 336µA

5	75		38% 432 $\mu$ A
6	80		35% 392 $\mu$ A

Pada Tabel 4.9 diperlihatkan bahwa mulai tegangan 55 kV, gelombang pada siklus negatif mempunyai pulsa yang lebih banyak dari pengujian pada kelembaban rendah. Ini bisa disebabkan karena ruang uji mempunyai kelembaban tinggi, sehingga akan ada air yang menempel di permukaan isolator. Bentuk seperti tersebut menyatakan bahwa air mengalami vibrasi [18].

Bila dibandingkan besar arus maksimum pada tegangan uji 75 kV antara kelembaban tinggi dan rendah, ternyata kelembaban tinggi mempunyai arus maksimum yang lebih besar, walaupun THD yang dihasilkan pada kelembaban ini lebih kecil dari kelembaban rendah. Ini juga disebabkan karena kondisi lembab yang menyebabkan adanya uap air yang menempel di permukaan isolator, sehingga isolator bertambah konduktif.

### III.3.2 Pengujian Lewat Denyar Pada Isolator Terpolutan Sangat Berat Dengan Konduktivitas 2600 $\mu$ S/cm

Pada kelembaban rendah, tegangan dinaikkan dari 50 kV sampai 85 kV, tetapi lewat denyar (*flashover*) tidak terjadi. Pada kelembaban tinggi, mulai dari tegangan 54 kV telah terjadi percikan busur api (*sparkover*) di antara piringan, kejadian ini terus berlanjut setiap tegangan uji dinaikkan dengan kenaikan 2 kV, dan berakhir dengan kejadian lewat denyar pada tegangan 64 kV. Kejadian ini berlangsung sekitar 1 menit 10 detik.



Gambar 4.4 *Sparkover* di permukaan isolator polutan 2600  $\mu$ S/cm, Kelembaban Tinggi

Kelembaban tinggi menyebabkan lapisan permukaan isolator menjadi konduktif, sehingga mempercepat terjadinya pita kering, semakin memanjangnya pita kering, menyebabkan pelepasan muatan busur api (*flashover*) semakin cepat. Pada tegangan 62 kV, isolator terpolutan 2600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dengan kelembaban tinggi mengalami lewat denyar. Gambar 4.5 berikut memperlihatkan bentuk dari kejadian lewat denyar pada isolator tersebut.



Gambar 4.5 Lewat denyar di permukaan isolator polutan 2600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Kelembaban Tinggi

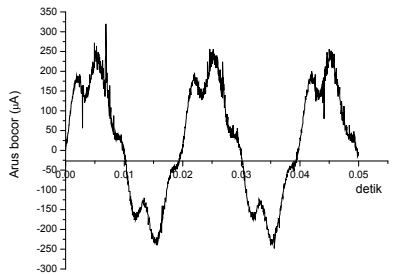
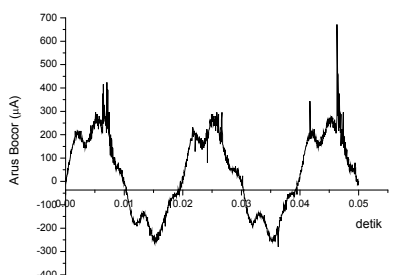
### III.3.3 Pengujian Lewat Denyar Pada Isolator Terpolutan Sangat Berat Dengan Konduktivitas 4300 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Besar resistansi dari isolator terpolutan dengan konduktivitas 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  adalah  $7,5 \times 10^{10} \Omega$ . Bila dibanding dengan isolator bersih dan isolator terpolutan 2600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , terlihat bahwa semakin berat tingkat polutan, maka ketahanan isolator menjadi semakin berkurang.

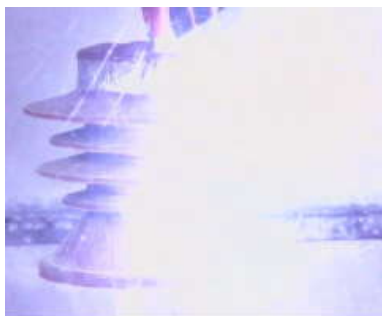
Berbeda dengan kelembaban tinggi, isolator polutan 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pada kelembaban rendah tidak mengalami *sparkover*. Tegangan lewat denyar terjadi pada tegangan uji 82 kV. Bentuk gelombang dan besar arus bocor maksimum sebelum lewat denyar pada kelembaban rendah diperlihatkan pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Gelombang arus bocor sebelum lewat denyar pada isolator polutan 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , kelembaban rendah

No.	Teg. Uji (kV)	Gelombang Harmonisa	THD $I_{\text{max}}$
1	50		34% 212 $\mu\text{A}$
2	60		34% 260 $\mu\text{A}$

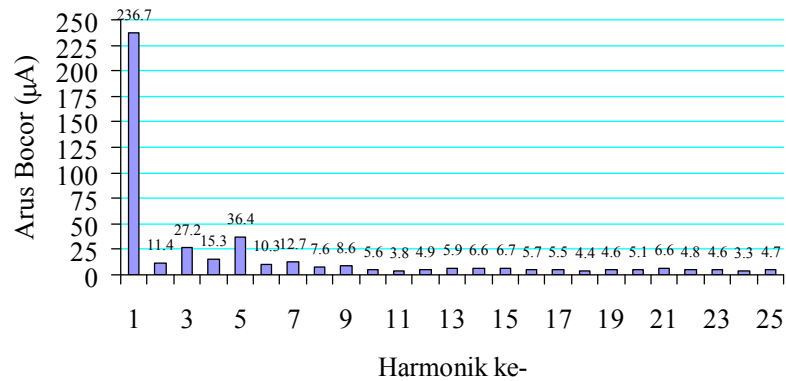
3	70		32% 320µA
4	75		40% 672µA

Di Tabel 4.10 bentuk gelombang arus bocor pada tegangan uji 75 kV, sangat membahayakan sekali. Walaupun arus fundamental tidak begitu besar (236,732) untuk peringatan terjadinya lewat denyar, tapi arus maksimumnya sangat besar sekali (672  $\mu\text{A}$ ). Ini disebabkan karena tegangan uji yang diberikan merupakan tegangan yang sangat tinggi (75 kV), dan bentuk ini juga dipengaruhi oleh polutan yang sangat berat (konduktivitas 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) di permukaan isolator. Dan ini, terbukti, ketika tegangan dinaikkan menjadi 82 kV, lewat denyar (*flashover*) terjadi tanpa didahului oleh pelepasan busur api (*sparkover*) di sekitar piringan isolator. Pada Gambar 4.6 diperlihatkan photo dari kejadian lewat denyar pada isolator 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dengan kelembaban rendah.



Gambar 4.6 Lewat denyar di permukaan isolator polutan 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Kelembaban Rendah

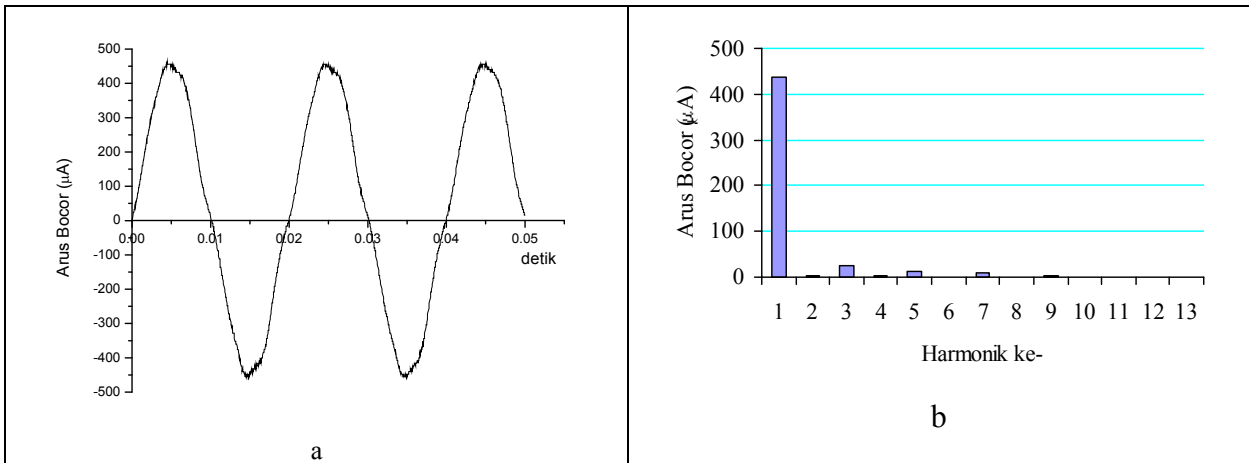
Spektrum harmonik yang dihasilkan dari gelombang arus bocor pada tegangan uji 75 kV, kelembaban rendah isolator terpolutan dengan konduktivitas 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  diperlihatkan pada Gambar 4.7. Terlihat bahwa banyaknya komponen-komponen harmonik yang menyebabkan arus bocor maksimum sesaat yang mengalir pada permukaan isolator mencapai 672  $\mu\text{A}$ .



Gambar 4.7 Spektrum Harmonik Isolator polutan 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , kelembaban Rendah, Tegangan uji 75 kV

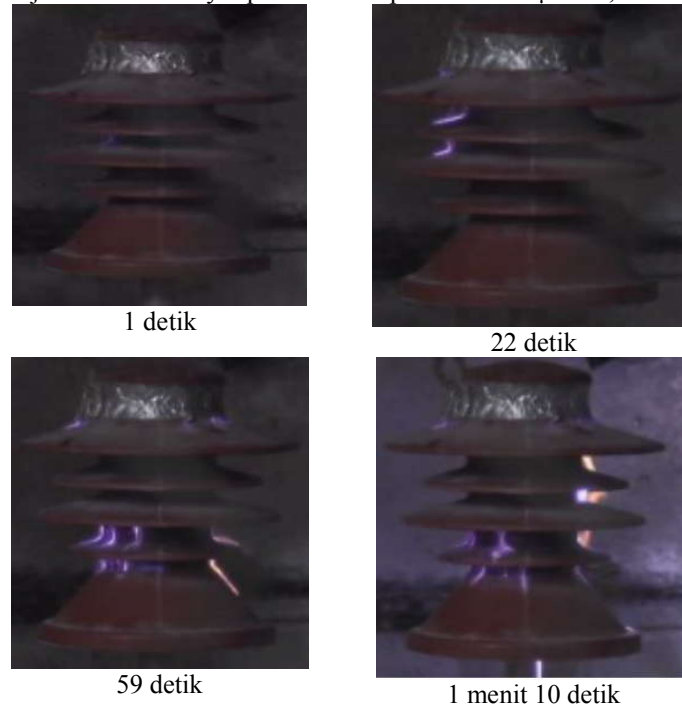
Berbeda dengan kasus yang dijumpai pada kelembaban rendah, pada kelembaban tinggi dengan isolator yang sama, justru gelombang yang dihasilkan mengarah ke gelombang sinusoidal linear. Dan tegangan lewat denyar yang terjadi didahului terlebih dulu dengan munculnya *sparkover*, dan kejadian tersebut dimulai dari tegangan dari 20 kV sampai 53 kV untuk lewat denyar. Kejadian ini berlangsung selama 1 menit 10 detik.

Bentuk gelombang yang dihasilkan sebelum lewat denyar pada tegangan kerja 12 kV diperlihatkan pada Gambar 4.8a. THD yang dihasilkan pada gelombang ini adalah 10,25% dengan arus bocor maksimum 464  $\mu\text{A}$ . Arus komponen fundamental sebesar 435, 68  $\mu\text{A}$ . Maka dapat diambil kesimpulan bahwa penyebab utama arus maksimum adalah dari arus bocor komponen fundamental, di samping didukung oleh komponen-komponen ganjil. Spektrum harmonik yang dihasilkan dapat dilihat di Gambar 4.8b. Kelembaban tinggi, sangatlah mempengaruhi bentuk gelombang arus bocor yang terjadi. Selama meningkatnya proses pembasahan, arus bocor berubah dari kapasitif menjadi resistif sehingga secara bersamaan amplitudo arus bocor meningkat [15] dan gelombang yang dihasilkan berbentuk sinusoidal linear.



Gambar 4.8 Gelombang dan spektrum harmonik isolator polutan 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , kelembaban Tinggi, Teg. uji 12 kV

Tabel 4.11 Kejadian lewat denyar pada isolator polutan 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , kelembaban tinggi



Gambar-gambar dari kejadian lewat denyar pada isolator polutan 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , kelembaban tinggi, dapat dilihat di Tabel 4.11. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa selama 22 detik *sparkover* yang terjadi belum sampai ke piringan bawah dari isolator. Setelah 31 detik, *sparkover* sampai ke piringan paling bawah dan jumlah busur api semakin meningkat ke detik-detik berikutnya, sampai ke 1 menit 10 detik, *sparkover* diikuti dengan lewat denyar. Karena rekaman ini pada sore hari, latar belakang dari kejadian *sparkover* ini berwarna gelap, sedangkan sewaktu lewat denyar latar belakang yang awalnya gelap menjadi terang akibat dari cahaya yang ditimbulkan oleh lewat denyar.

## BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

### IV.1 Kesimpulan

- Isolator yang terpolusi dengan kelembaban tinggi pada suatu tegangan uji dapat menyebabkan isolator menjadi konduktif akibat adanya uap air yang muncul di permukaan isolator sehingga arus bocor yang mengalir semakin besar.
- THD yang dihasilkan pada kelembaban rendah mempunyai nilai yang lebih besar dari kelembaban sedang dan tinggi. Semakin tinggi kelembaban, bentuk gelombang arus bocor isolator mengarah ke bentuk sinusoidal murni.
- Kondisi kenaikan temperatur dengan kelembaban tinggi harus diwaspadai, karena pada kondisi ini arus bocor maksimum yang dihasilkan sangat besar sekali. Apabila isolator terpolusi selalu berada di lingkungan yang mempunyai temperatur tinggi dan berada pada kelembaban tinggi (basah), kemungkinan besar akan mempercepat terjadinya *tracking* dan *erosion* pada isolator, karena pada kondisi tersebut akan terjadi peristiwa pita kering (*dryband*).
- Peristiwa lewat denyar tidak terjadi pada isolator bersih baik pada kelembaban rendah atau tinggi, walaupun tegangan uji sudah dinaikkan sampai 80 kV.
- Lewat denyar (*Flashover*) pada isolator terpolusi 2600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  terjadi pada kelembaban tinggi didahului dengan *sparkover*. Kejadian ini berlangsung selama 1 menit 10 detik mulai dari 54 kV sampai 64 kV.

- Isolator terpolusi 4300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mengalami lewat denyar tanpa didahului dengan *sparkover* pada kelembaban rendah dengan tegangan 82 kV. Pada kelembaban tinggi lewat denyar didahului dengan *sparkover* mulai dari 20 kV sampai 53 kV selama 1 menit 10 detik.

## V.2 Saran

- Kelembaban sangat mempengaruhi nilai arus bocor yang mengalir. Walaupun kelembaban rendah, sedang dan tinggi masing-masing mempunyai rating 50-60%, 70-80% dan 85-95%, tapi apabila masih berada di rating tersebut, katakanlah pengujian dengan tegangan yang sama pertama-tama menggunakan kelembaban 55%, kemudian menggunakan 60%, pastilah nilainya tidak sama. Jadi untuk pengujian selanjutnya, disarankan kelembaban yang dilakukan harus pada nilai konstan, karena kalau tidak, itu bisa mempengaruhi nilai arus bocor yang mengalir.
- Untuk pengujian selanjutnya disarankan agar ketahanan uji (*aging*) tidak hanya dilakukan selama satu jam, tapi dilakukan dalam satu hari atau dalam satu minggu atau lebih dari itu. Hal ini bertujuan agar diketahui pengaruh yang lebih jelas bila isolator diberi tegangan kerja dalam waktu yang cukup lama, sehingga bila hal tersebut terjadi di lapangan sesungguhnya dapat diperkirakan efek yang akan terjadi di permukaan isolator.
- Dengan data-data yang telah dihasilkan dari pengujian, diharapkan dapat dilanjutkan pengujian ini oleh peneliti selanjutnya dengan menggunakan isolator yang sama, karena itu bisa digunakan untuk menganalisa *aging*, pelepasan muatan (*partial discharge*) yang terjadi pada isolator, munculnya mikrobiologi pada permukaan isolator, dsb.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Gorur, R.S., et al, *Outdoor Insulator*, Ravi S. Gorur, Inc., Phoenix, USA, 1999
- [2]. Fernando M.A.R.M., *Performance of Non-ceramic Insulators in Tropical Environments*, Thesis For The Degree Of Doctor Of Philosophy, Göteborg, Sweden, 1999
- [3]. Sillars. R.W, et al, *Electrical Insulating Materials and Their Application*, Peter Peregrinus Ltd., 1973
- [4]. Rahmad, et al, Pengujian Karakteristik Bahan Isolasi Resin Epoksi Terkontaminasi Polutan Di Daerah Parangtritis, *SNWTT V*, 2002
- [5]. Gorur, R.S, et al, "Electrical Performance of Cycloaliphatic Epoxy Materials and Insulators for Outdoor Use", *IEEE Trans. On Power Delivery*, Vol.15, No. 4, pp.1274-1278, Oct.2000
- [6]. Suwarno, "Diagnostics of Outdoor Using Leakage Current Waveform Parameters", *preprint*.
- [7]. Suwarno, et al, Analisa Spektrum Harmonik Arus Bocor Pada Isolasi Polimer, *SNWTT V*, 2002
- [8]. Fernando M.A.R.M., et al, "Leakage Current on Non-ceramic Insulators and Materials", *IEEE Trans. Dielect. Elect. Insul.*, Vol. 6 No.5, pp. 660-664, Oct. 1999.
- [9]. Schwardt W.H., et al, "A Comparison Between Measured Leakage Current And Surface Conductivity During Salt Fog Tests", *preprint*
- [10]. T. Sorqvist and S. M. Gubanski, "Leakage current and flashover of field-aged polymeric insulators", *IEEE Trans. Dielect. Elect. Insul.*, Vol. 6, pp. 744-753, Oct. 1999.
- [11]. A. de la and Gorur, R.S., "Flashover of Contaminated Nonceramic Outdoor Insulators in a Wet Atmosphere", *IEEE Trans. On Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol.5, No.61, pp.814 -823, December 1998
- [12]. George G. Karady, "Flashover Mechanism of Non-ceramic Insulators", *IEEE Trans. Dielect. Elect. Insul.*, Vol. 6 no.5, pp. 718-723, Oct. 1999.
- [13]. Piah, M. A. M, "Modelling Leakage Curent and Electric Field Behavior of Wet Contaminated Insulators", *IEEE Trans. On Power Delivery*, Vol.19, No. 1, pp.432-434, January 2004
- [14]. Zhicheng G., et al, "A Study on the leakage current along the Surface of Polluted Insulator", *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Properties and App. of Dielectric Materials*, pp. 495-498, July 3-8, 1994
- [15]. Amarh Felix, et al, " Level Crossing Analysis of Leakage Current Envelope of Polluted Insulators", *IEEE Power Engineering Review*, August 2001
- [16]. Permanasari, D., Karakteristik Arus Bocor Pada Isolator Pasangan Luar Polimer Etylen Propylene Monomer 20 kV Pada berbagai Kondisi Lingkungan, *Tugas Akhir*, Institut Teknologi Bandung, 2002
- [17]. Dermawan, H., Studi Bentuk Gelombang Dan Spektrum Harmonik Arus Bocor Pada Isolator Keramik Jenis Pos Pin 20 kV Dalam Berbagai Kondisi Lingkungan, *Tugas Akhir*, Institut Teknologi Bandung, 2000

- [18]. Yong Zhu, et al, "Mechanism for Change in Leakage Current Waveform on a Wet Silicone Rubber Surface-A Study using a Dynamic 3-D Model", *IEEE Trans. On Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol.12, No.3, pp.556-565, June 2005
- [19]. Gorur, R.S, E.A. Cherney, et al, "The Electrical Performance Of Polymeric Insulating Materials Under Accelerated Aging In A fog Chamber", *IEEE Trans. On Power Delivery*, Vol. 3, No. 3, pp.1157-1164, July 1988
- [20]. Zaputra, S., et al, Studi Karakteristik Arus Bocor dan Tahanan Permukaan Isolasi Polimer Resin Epoksi Dalam Aplikasi Trafo Arus Distribusi Pasangan Luar Pada Berbagai Kondisi Lingkungan, *Senatrik*, Bandung, 7-8 Desember 2004
- [21]. IEC 507, *Artificial pollution test on high-voltage insulators to be used on ac systems*, 2<sup>nd</sup> edition, Geneve, Suisse, 1991
- [22]. Gorur, R.S, E.A. Cherney, et al, "The AC And DC Performance Of Polymeric Insulating Materials Under Accelerating Aging In A Fog Chamber", *IEEE Trans. On Power Delivery*, Vol. 3, No. 4, pp.1892-1902, Oct.1988
- [23]. Besztercey G.G., et al, "An Artificial Contamination Method for Composite Insulators", *IEEE Trans. On Power Delivery*, Vol.15, No. 2, pp.732-736, April 2000
- [24]. Izumi, K., et al, " Applications of Polymeric Outdoor Insulation in Japan", *IEEE Trans. On Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol.6, No.5, pp.595-604, October 1999
- [25]. Kapal Sharma, R.E.T, *Technical Article: Polymeric Insulators*, internet
- [26]. Naidu, MS, et al, *High Voltage Engineering*, 2<sup>nd</sup> edition, Tata McGraw-Hill Published, New Delhi, 1995
- [27]. Wildi, T, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, fourth edition, Prentice Hall, New Jersey Columbus, Ohio, 2000