

**KARAKTERISTIK ISOLASI HASIL REKAYASA RESIN
EPOKSI**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

DIAN KARTIKA OKTAVIA HARDIANTO

NIM. 0910632006

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2011

LEMBAR PERSETUJUAN
**KARAKTERISTIK ISOLASI HASIL REKAYASA
RESIN EPOKSI**

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
DIAN KARTIKA OKTAVIA HARDIANTO
NIM. 0910632006

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Moch. Dhofir, Drs., Ir., MT.

NIP. 19600701 199002 1 001

Hery Purnomo, Ir., MT.

NIP. 19550708 198212 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**KARAKTERISTIK ISOLASI HASIL REKAYASA RESIN
EPOKSI**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

DIAN KARTIKA OKTAVIA HARDIANTO

NIM. 0910632006

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 27 Desember 2011

Majelis Penguji:

Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D.

NIP. 19730520 200801 1 013

Harry Soekotjo Dachlan, Dr. Ir., M.Sc.

NIP. 19490309 198602 1 001

Wijono, Ir. MT., Ph.D.

NIP. 19621111 198903 1 003

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Sholeh Hadi Pramono, Dr. Ir., M.S.

NIP. 19580728 198701 1 00

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan penyertaan-Nya, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Skripsi ini tidak mungkin bisa terwujud tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak yang telah berjasa besar dalam terselesaikannya skripsi ini. Pada kesempatan ini ucapan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada:

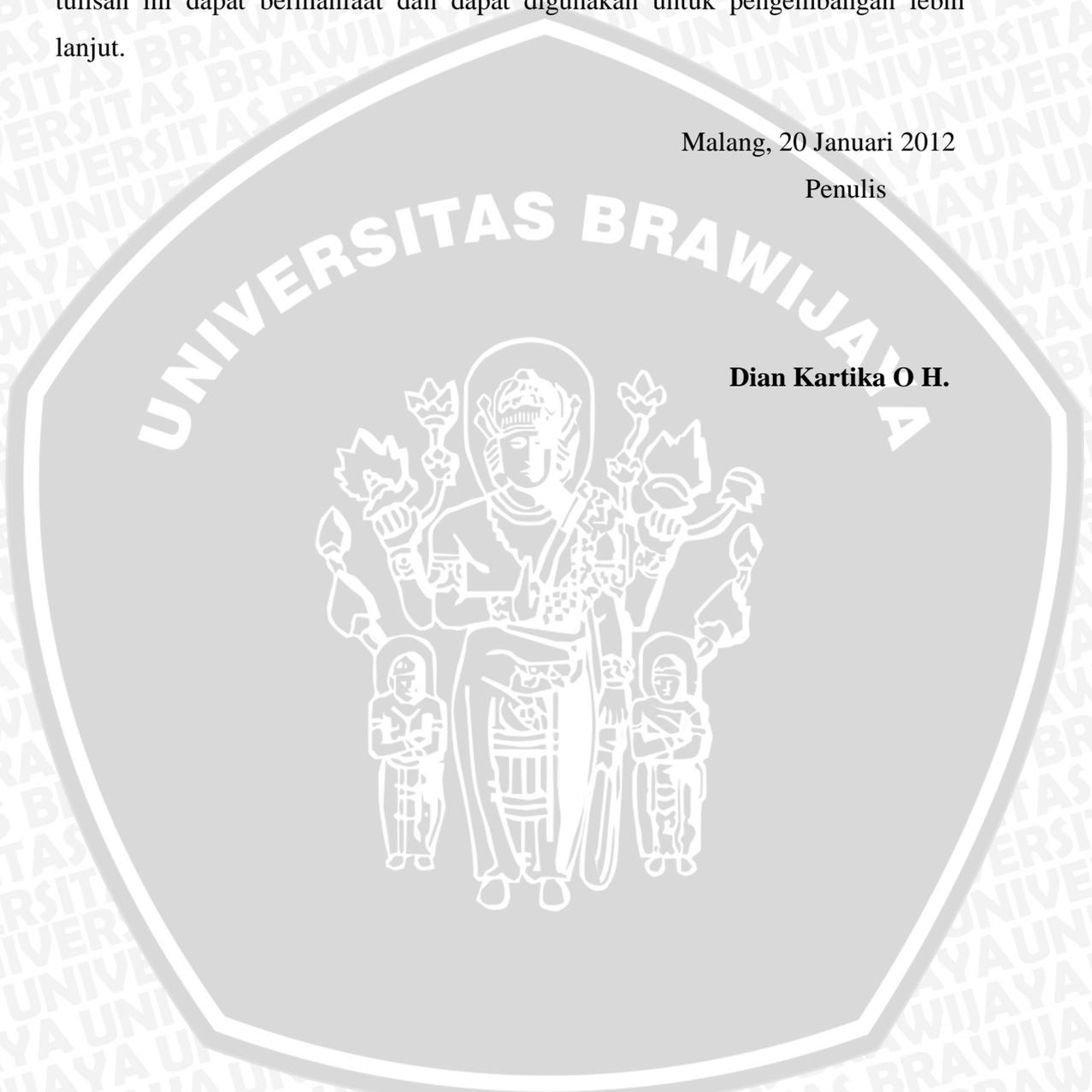
1. Bapak Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak M.Aziz Muslim ST.,MT.,Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Wijono, MT. selaku Ketua Dosen Keahlian Konsentrasi Teknik Energi Elektrik.
4. Bapak Ir. Drs. Moch. Dhofir, MT selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
5. Bapak. Ir. Hery Purnomo, MT selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan motivasi, arahan dan bimbingan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Ibu dan Bapak tercinta, yang telah banyak memberikan kasih sayang, dukungan dan doa yang tiada henti-hentinya.
7. Rekan-rekan Laboratorium Tegangan Tinggi UB, rekan-rekan paket energi elektrik angkatan SAP 2009 atas dukungan yang diberikan
8. Semua rekan-rekan dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga Tuhan YME senantiasa memberikan karunia-Nya atas jasa dan bantuannya yang telah diberikan kepada penulis.

Dalam penyusunan skripsi ini, tentu terdapat banyak kekurangan, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, saran dan kritik mengenai skripsi ini masih sangat diharapkan agar skripsi ini dapat menjadi karya tulis yang mendekati sempurna. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, 20 Januari 2012

Penulis

Dian Kartika O H.



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	1
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Hipotesa	3
1.5 Ruang Lingkup	4
1.6 Tujuan	4
1.7 Manfaat	4
1.8 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Umum	6
2.2 Resin Epoksi	6
2.2.1 <i>Hardener</i> Resin Epoksi	7
2.2.2 Karakteristik Mekanik Resin Epoksi	8
2.2.3 Karakteristik Elektrik Resin Epoksi	9
2.2.4 Karakteristik Kimia Resin Epoksi	12
2.2.5 Karakteristik Fisik Resin Epoksi	13

2.2.6	Pengaruh Kadar <i>Hardener</i> Terhadap Karakteristik Mekanik dan Karakteristik Elektrik Resin Epoksi.....	13
2.3	<i>Partial Discharge</i> dan Kegagalan Bahan Isolasi.....	14
2.4	Pembangkitan Tegangan Tinggi Bolak-Balik	14
2.5	Pembangkitan Tegangan Tinggi Searah.....	15
2.6	Pagar, Penumbing, dan Perisai untuk Instalasi Percobaan	17
2.7	Pengukuran Resistivitas.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		20
3.1	Studi Literatur.....	20
3.2	Objek Uji	20
3.3	Rangkaian Pengujian.....	21
3.4	Prosedur Pengujian.....	22
3.4.1	Pengujian Arus Bocor	22
3.4.2	Pengujian Resistivitas dan Permittivitas Resin Epoksi	23
3.4.3	Simulasi Distribusi Medan Listrik pada Pengujian Arus Bocor Padatan Isolasi Resin Epoksi	26
3.4.4	Pengujian Mekanik Resin Epoksi	27
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		28
4.1	Umum.....	28
4.2	Resin Epoksi.....	28
4.3	Pengaruh Kadar dan Jenis <i>Hardener</i> Terhadap Arus Bocor pada Resin Epoksi.....	29
4.3.1	Pengaruh Kadar <i>Hardener</i> Jenis <i>Triethylemetetramine</i> (TETA) Terhadap Arus Bocor pada Resin Epoksi	29
4.3.2	Pengaruh <i>Hardener</i> Jenis <i>Methaphenylene–Diamine</i> (MPDA) Terhadap Arus Bocor pada Resin Epoksi	35
4.3.3	Perbandingan Arus Bocor Resin Epoksi dengan Jenis <i>Hardener</i> yang Berbeda.....	40

4.4	Pengaruh Jenis <i>Hardener</i> Terhadap Resistivitas dan Konduktivitas Pada Resin Epoksi.....	42
4.4.1	Resistivitas dan Konduktivitas Resin Epoksi dengan <i>Hardener Triethylemetetramine</i> (TETA)	42
4.4.2	Resistivitas dan Konduktivitas Resin Epoksi dengan <i>Hardener Methaphenylene–Diamine</i> (MPDA)	47
4.4.3	Perbandingan Nilai Resistivitas dan Konduktivitas Resin Epoksi dengan Jenis <i>Hardener</i> yang Berbeda.....	52
4.5	Pengaruh Jenis <i>Hardener</i> Terhadap Permittivitas Pada Resin Epoksi	53
4.5.1	Permittivitas Resin Epoksi dengan <i>Hardener Triethylemetetramine</i> (TETA)	53
4.5.2	Permittivitas Resin Epoksi dengan <i>Hardener Methaphenylene–Diamine</i> (MPDA).....	55
4.5.3	Perbandingan Nilai Permittivitas Resin Epoksi dengan Jenis <i>Hardener</i> yang Berbeda	58
4.6	Simulasi Distribusi Medan Listrik pada Resin Epoksi.....	58
4.6.1	Simulasi Distribusi Medan Listrik Pengujian pada Resin Epoksi dengan <i>Hardener Triethylemetetramine</i> (TETA)	58
4.6.2	Simulasi Distribusi Medan Listrik Pengujian pada Resin Epoksi dengan <i>Hardener Methaphenylene–Diamine</i> (MPDA)	61
4.7	Pengaruh Jenis <i>Hardener</i> Terhadap Kuat Tekan Pada Resin Epoksi.....	63
BAB V PENUTUP.....		66
5.1	Kesimpulan.....	66
5.2	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA		68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pencampuran Resin dengan <i>Hardener</i>	7
Gambar 2.2 Ikatan <i>Triethylenetetramine</i>	8
Gambar 2.3 Ikatan <i>Methaphenylene–Diamine</i>	8
Gambar 2.4 Arus Bocor Iv dan Ip Pada Bahan Isolasi	10
Gambar 2.5 Struktur Kimia Dari Bisfenol A, Epiklorohidrin dan Polimer Epoksi	13
Gambar 2.6 Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi Searah dengan Metode	15
Gambar 2.7 Pengukuran Tegangan Tinggi Searah dengan Suatu Resistor Seri atau Pembagi Resistif.....	17
Gambar 2.8 Wadah Uji yang Digunakan untuk Pengujian Resistivitas dan Permittivitas.....	18
Gambar 3.1 <i>Methaphenylene–Diamine</i> dan <i>Triethylenetetramine</i>	21
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengujian Arus Bocor pada Padatan Isolasi Resin Epoksi	23
Gambar 3.3 Wadah Uji Resistivitas Resin Epoksi.....	24
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengujian Resistivitas dan Permittivitas Resin Epoksi	25
Gambar 3.5 Diagram Alir Simulasi Distribusi Medan Listrik pada Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Padat Resin Epoksi	26
Gambar 3.6 Mesin Kompresi	27
Gambar 4.1 Hasil Cetakan Resin Epoksi dengan Jenis <i>Hardener</i> yang Berbeda ..	28
Gambar 4.2 Rangkaian Pengujian Arus Bocor	29
Gambar 4.3 Grafik Arus Bocor Resin Epoksi dengan <i>Hardener Triethylemetetramine</i> (TETA) Sampel Pertama	31
Gambar 4.4 Grafik Arus Bocor Resin Epoksi dengan <i>Hardener Triethylemetetramine</i> (TETA) Sampel Kedua	32
Gambar 4.5 Grafik Arus Bocor Resin Epoksi dengan <i>Hardener Triethylemetetramine</i> (TETA) Sampel Ketiga	34

Gambar 4.6 Grafik Arus Bocor Resin Epoksi dengan <i>Hardener Methaphenylene–Diamine</i> (MPDA) Sampel Pertama	36
Gambar 4.8 Grafik Arus Bocor Resin Epoksi dengan <i>Hardener Methaphenylene–Diamine</i> (MPDA) Sampel Ketiga.....	39
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Nilai Arus Bocor Resin Epoksi dengan Jenis <i>Hardener</i> yang berbeda	41
Gambar 4.10 Grafik resistivitas Resin Epoksi dengan <i>Hardener Triethylemetetramine</i> (TETA).....	45
Gambar 4.11 Grafik Konduktivitas Resin Epoksi dengan <i>hardener Triethylemetetramine</i> (TETA).....	46
Gambar 4.12 Grafik resistivitas Resin Epoksi dengan <i>Hardener Methaphenylene Diamine</i> (MPDA)	50
Gambar 4.13 Grafik Konduktivitas Resin Epoksi dengan <i>Hardener Methaphenylene–Diamine</i> (MPDA).....	51
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Nilai Resistansi Resin Epoksi dengan Jenis <i>Hardener</i> yang Berbeda.....	52
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Nilai Konduktivitas Resin Epoksi dengan Jenis <i>Hardener</i> yang Berbeda.....	53
Gambar 4.16 Grafik Konduktivitas Resin Epoksi dengan <i>Hardener Triethylemetetramine</i> (TETA).....	55
Gambar 4.17 Grafik Konduktivitas Resin Epoksi dengan <i>Hardener Methaphenylene–Diamine</i> (MPDA).....	57
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nilai Permittivitas Resin Epoksi dengan Jenis <i>Hardener</i> yang Berbeda.....	58
Gambar 4.19 Gambar Garis Ekipotensial Resin Epoksi dengan Kadar <i>hardener</i> Berbeda.....	59
Gambar 4.20 Gambar Grafik Besar Medan Listrik Tertinggi pada Resin Epoksi dengan Kadar <i>hardener</i> yang Berbeda	60
Gambar 4.21 Gambar Garis Ekipotensial Resin Epoksi dengan Kadar <i>hardener</i> berbeda.....	61
Gambar 4.22 Gambar Garis Ekipotensial Resin Epoksi dengan Kadar <i>hardener</i> 70%	62

Gambar 4.23 Gambar Grafik Besar Medan Listrik Tertinggi pada Resin Epoksi
dengan Kadar *hardener* yang Berbeda 63

Gambar 4.24 Pengujian Kuat Tekan pada Resin Epoksi 64



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan – batasan Arus dan Pengaruhnya Terhadap Manusia.....	12
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pengaruh Kadar <i>Hardener</i> Jenis <i>Triethylemetetramine</i> (TETA) pada Resin Epoksi Terhadap Tingkat Arus Bocor Isolasi (Sampel Pertama)	30
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pengaruh Kadar <i>Hardener</i> Jenis <i>Triethylemetetramine</i> (TETA) pada Resin Epoksi Terhadap Tingkat Arus Bocor Isolasi (Sampel Kedua)	31
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Pengaruh Kadar <i>Hardener</i> Jenis <i>Triethylemetetramine</i> (TETA) pada Resin Epoksi Terhadap Tingkat Arus Bocor Isolasi (Sampel Ketiga).....	33
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Arus Bocor dan Nilai Tahanan pada Resin Epoksi dengan <i>Hardener Triethylemetetramine</i> (TETA).....	43
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Arus Bocor dan Nilai Tahanan pada Resin Epoksi dengan <i>Hardener</i> Jenis <i>Methaphenylene–Diamine</i> (MPDA).....	48
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Nilai Kapasitansi Resin Epoksi dengan <i>Hardener Methaphenylene Diamine</i>	56
Tabel 4.11 Nilai Medan Listrik Tertinggi Resin Epoksi dengan <i>hardener Triethylemetetramine</i> (TETA).....	60
Tabel 4.12 Nilai Medan Listrik Tertinggi Resin Epoksi dengan <i>hardener Methaphenylene–Diamine</i> (MPDA).....	62

ABSTRAK

Dian Kartika Oktavia Hardianto, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Oktober 2011, **Karakteristik Isolasi Hasil Rekayasa Bahan resin Epoksi**, Dosen Pembimbing: Ir.Drs. Moch Dhofir, MT. dan Ir. Hery Purnomo, MT.

Dalam Skripsi ini diuraikan hasil penelitian tentang karakteristik isolasi hasil rekayasa bahan resin epoksi. Rekayasa bahan resin epoksi meliputi variasi dari jenis dan kandungan hardener yang akan dicampurkan pada resin epoksi. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian tentang karakteristik elektrik berupa, pengujian arus bocor pada tegangan tinggi searah (AC), pengujian resistivitas pada tegangan tinggi bolak balik (DC), dan pengujian permitivitas, serta pengujian uji tekan mekanik. Pengujian ini menggunakan elektroda homogen yaitu elektroda bola-bola.

Skripsi ini menyampaikan hasil analisis tentang karakteristik hasil rekayasa bahan resin epoksi. Kajian yang dilakukan adalah mencari karakteristik pengaruh dari beberapa parameter terhadap karakteristik kualitas isolasi dari resin epoksi, parameter-parameter tersebut adalah: pengaruh jenis dan kandungan hardener pada Resin Epoksi terhadap karakteristik mekanik dan karakteristik elektrik berupa arus bocor, resistivitas, permitivitas, serta distribusi medan listrik. Distribusi medan listrik disimulasikan dengan menggunakan program femm 4.2.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis dan kandungan hardener pada resin epoksi mempengaruhi karakteristik mekanik dan elektrik dari resin epoksi. Karakteristik mekanik resin epoksi dengan kandungan 50% jenis hardener Triethylemetetramine (TETA) memiliki nilai kuat tekan bahan paling besar dan memiliki nilai resistivitas tertinggi sebesar $10,38 \text{ G } \Omega\text{-m}$, dan memiliki nilai permitivitas tertinggi sebesar $3,672 \text{ F/m}$. Sedangkan pada pengujian arus bocor pada tegangan uji 15 kV , memiliki nilai arus bocor terendah yaitu $26,4 \mu\text{A}$.

Kata Kunci: resin epoksi, uji tekan, karakteristik elektrik.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi kelistrikan tegangan tinggi saat ini sangatlah pesat. Perkembangan ini memberikan tantangan dalam pengetahuan bahan isolasi. Bahan isolator yang baik harus memiliki sifat-sifat yang merupakan sesuatu yang wajib dipenuhi terutama dalam pencapaian faktor keselamatan. Sifat-sifat itu antara lain adalah kelistrikan, mekanik, panas dan kimia. Secara kelistrikan, bahan isolator harus memiliki resistansi yang tinggi untuk mengurangi kebocoran arus dan tegangan tinggi sehingga bahan tersebut dapat menahan tegangan tanpa rusak. Bahan isolator juga harus memiliki kerugian dielektrik yang tinggi agar tidak cepat panas.

Isolator yang lazim digunakan di Indonesia dari bahan isolasi porselin dan kaca, sehingga untuk saluran transmisi bertegangan semakin tinggi tidak sesuai karena berat jenisnya cukup tinggi dan unit isolator semakin banyak menyebabkan semakin besarnya biaya menara. Disamping itu proses pembuatan porselin dan kaca memerlukan suhu di atas 1000°C , menyebabkan usaha ke arah pabrikasinya di Indonesia kurang sesuai.

Material isolator dengan bahan isolasi polimer resin epoksi merupakan alternatif baru pengganti porselin dan/atau gelas, hal ini dikarenakan berbagai keunggulan yang dimilikinya, antara lain mempunyai rapat massa rendah, mudah dibentuk pada suhu ruang RTV (*room temperatur vulcanization*), memiliki konstanta dielektrik dan faktor disipasi jauh lebih baik dibandingkan kaca dan porselen.

Resin epoksi merupakan salah satu isolator yang memenuhi sifat-sifat yang wajib dipenuhi dalam pencapaian faktor keselamatan. Adapun sifat dari resin epoksi tersebut adalah tahan terhadap panas, tahan terhadap kelembapan, memiliki kekuatan mekanik yang baik, ringan, dapat dibentuk dalam suhu ruang, penghantar listrik yang buruk. sifat menolak air (*hydrophobicity*), mudah dibawa karena beratnya lebih ringan, tidak memerlukan perawatan yang tinggi, sehingga biaya pemeliharaan tidak begitu besar.

Resin epoksi ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan porselin diantaranya dengan rapat massa $0.9\text{--}2.5\text{gram/cm}^3$ yang lebih rendah dibandingkan dengan porselin yang rapat massanya $2.3\text{--}3.9\text{gram/cm}^3$ dan kaca dengan rapat massa 2.5gram/cm^3 . Sifat dielektrik bahan isolasi polimer memiliki konstanta dielektrik $2.3\text{--}5.5$, yang lebih baik dibandingkan dengan porselin dengan konstanta dielektrik $5.0\text{--}7.5$ sedangkan kaca memiliki konstanta dielektrik 7.3 .

Pada penulisan ini akan dibahas tentang percobaan pencampuran resin epoksi dengan berbagai macam kawat katalis, sehingga diharapkan akan didapat kadar katalis yang paling baik, yaitu yang memiliki kuat tekan yang baik, dan memiliki gelembung udara yang sedikit.

Hasil pengujian resin epoksi ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam pemilihan isolator pada sistem tegangan tinggi. Dan juga dengan pengujian resin epoksi ini, dapat diketahui pula campuran antara resin dan katalis yang memiliki sifat isolator yang paling baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah yang akan dibahas sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah pengaruh jenis dan variasi kadar *hardener* terhadap karakteristik elektrik polimer resin epoksi yang meliputi
 - Arus bocor.
 - Resistansi.
 - Permittivitas.
 - medan distribusi.
- b. Bagaimanakah pengaruh jenis *hardener* terhadap karakteristik mekanik pada polimer resin epoksi

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

- a. Pengujian karakteristik elektrik dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- b. Pengujian karakteristik mekanik dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
- c. Obyek uji isolator yang digunakan adalah bahan isolasi padat berupa resin epoksi yang telah dicetak.
- d. Jenis *hardener* yang akan digunakan adalah *Triethylenetetramine* (TETA) dan *Methaphenylene-Diamine* (MPDA)
- e. Jenis elektroda yang digunakan adalah elektroda homogen, dan dipilih elektroda bola-bola
- f. Pengujian menggunakan rangkaian pembangkitan tegangan tinggi bolak balik (AC)
- g. Tidak membahas tentang karakteristik kimia resin epoksi
- h. Pada karakteristik mekanik, dilakukan pengujian uji tekan terhadap resin epoksi dengan kadar *hardener* yang berbeda-beda.
- i. Simulasi distribusi medan listrik menggunakan bantuan perangkat lunak *Femm 4.2*.

1.4 Hipotesa

Jenis dan kadar *hardener* pada pencampuran resin epoksi akan mempengaruhi besar resistivitas dan konduktivitas, dikarenakan hasil polimer resin epoksi dengan jenis *hardener* yang berbeda akan menghasilkan kuat tekan dan banyaknya gelembung yang berbeda.

Sehingga dengan memvariasikan jenis kadar *hardener* pada resin epoksi maka akan didapatkan besar kuat tekan yang berbeda-beda, sehingga akan didapatkan karakteristik elektrik yang meliputi arus bocor, konduktivitas dan resistivitas yang berbeda.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Menganalisis pengaruh dari kadar dan jenis *hardener* terhadap karakteristik elektrik dari resin epoksi meliputi resistivitas, permitivitas, arus bocor menggunakan elektroda homogen pada tegangan tinggi AC, dan medan distribusinya
- b. Menganalisis pengaruh dari kadar *hardener* terhadap karakteristik mekanik dari resin epoksi meliputi daya kekuatan tekan.

1.6 Tujuan

Tujuan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui pengaruh jenis dan kadar *hardener* terhadap karakteristik elektrik dan karakteristik mekanik dari polimer resin epoksi.
- b. Mengetahui pengaruh jenis *hardener* terhadap karakteristik elektrik dan karakteristik mekanik dari polimer resin epoksi.
- c. Mendapatkan polimer resin epoksi yang paling baik sehingga dapat digunakan sebagai isolator pada instalasi listrik.

1.7 Manfaat

Manfaat yang bisa didapatkan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Menambah pengetahuan tentang karakteristik bahan-bahan isolasi khususnya bahan resin epoksi.
- b. Memberikan masukan kepada pihak yang akan membangun sistem tenaga listrik di Indonesia untuk mempertimbangkan penggunaan bahan isolasi polimer resin epoksi ini.
- c. Memberikan masukan bagi pihak industri selaku pembuat isolator untuk mengembangkan kemungkinan penggunaan material resin epoksi.

1.8 Sistematika Penulisan

Penelitian ini disusun dengan urutan sebagai berikut :

- BAB I : Berisi judul penelitian, latar belakang, rumusan masalah, tujuan, dan batasan masalah.
- BAB II : Berisi tinjauan pustaka yang meliputi dasar-dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan.
- BAB III : Berisi metode penelitian yang akan dilakukan yang meliputi obyek penelitian, susunan rangkaian pengujian, dan teknik pengumpulan data.
- BAB IV : Berisi pembahasan dan analisis pengaruh jenis dan kadar *hardener* terhadap karakteristik elektrik dari resin epoksi dan pengaruh jenis *hardener* terhadap kuat tekan resin epoksi.
- BAB V : Berisi kesimpulan dari tujuan penelitian yang akan dibuat serta saran dari penulis.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Resin epoksi merupakan salah satu polimer yang biasa digunakan sebagai alternatif isolator pengganti dari keramik dan porselen. Resin epoksi biasanya digunakan pada instrumentasi trafo, peralatan *switchgear* dan *busbar*. Resin epoksi ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan isolator lain, yaitu memiliki daya tahan panas yang cukup tinggi, tahan terhadap proses kimiawi, tahan terhadap kelembapan, dan memiliki sifat mekanik yang baik. Oleh karena itulah resin epoksi ini sulit mengalami aus dan beban kejut.

Keuntungan lain yang dapat dipertimbangkan agar resin epoksi ini dapat dipakai sebagai isolator pengganti keramik atau porselen adalah, resin epoksi ini dapat dibentuk pada suhu ruang, mudah dibawa dikarenakan beratnya yang ringan, tidak memerlukan pemeliharaan yang khusus, sehingga resin epoksi ini lebih ekonomis dibandingkan isolator lainnya.

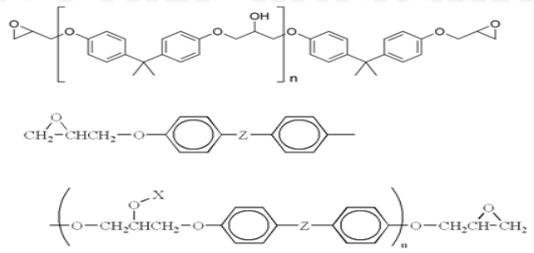
Kerugian dari resin epoksi adalah tidak tahan terhadap kelembapan, dan hal ini akan mengakibatkan resin epoksi tidak bisa menjadi keras. Selain itu resin epoksi juga memiliki gelembung-gelembung kecil pada saat dicetak, hal ini dipengaruhi oleh kadar *hardener* yang dicampur pada resin epoksi.

2.2 Resin Epoksi

Resin Epoksi adalah suatu kopolimer, terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda, yaitu resin dan *hardener*/pengeras. Resin terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan kelompok epoksida pada kedua ujungnya. Epoksi resin biasana dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin dan bisphenol-A, meskipun yang terakhir mungkin akan digantikan dengan bahan kimia yang serupa. Sedangkan *hardener* terdiri dari monomer polyamine, misalnya *Triethylenetetramine* (TETA) dan *Methaphenylene-Diamine* (MPDA).

Ketika resin dicampur dengan *hardener*, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida, sehingga polimer yang dihasilkan

sangat silang, dan dengan demikian kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut "curing", dan dapat dikontrol melalui suhu, jenis resin dan *hardener*, kadar resin dengan *hardener*. Proses polimerisasi dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses Pencampuran Resin dengan *Hardener*

Sumber : Wa Ode Zulkaida (2007:3)

Berdasarkan efek suhu terhadap sifat, resin epoksi diklasifikasikan sebagai termoset. Termoset dibentuk lewat reaksi kimia, dimana resin dan *hardener* atau resin dengan katalis dicampur dalam satu tempat kemudian terjadilah proses pengerasan (polimerisasi). Sekali terjadi pengerasan, termoset ini tidak bisa mencair lagi sekalipun dilakukan pemanasan. Meski demikian, pada temperatur tertentu terjadi perubahan sifat mekanik yang signifikan. Temperatur saat terjadi perubahan signifikan ini dikenal sebagai suhu transisi gelas (T_g). Diatas temperatur gelas tersebut, struktur molekul dari termoset berubah dari polimer kristal yang keras menjadi polimer yang lebih flexibel. Selain itu, modulus resin juga turun secara drastis sehingga daya tekan dan kekuatannya berkurang. Ketahanan terhadap air dan stabilitas warna juga berkurang pada saat suhu diatas temperatur gelas ini.

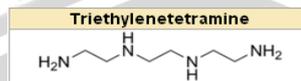
2.2.1 *Hardener* Resin Epoksi

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa proses pengerasan terjadi jika polimer epoxy resin ini dicampurkan dengan *hardener*nya. Pengerasan atau polimerisasi terjadi karena pencampuran keduanya membentuk ikat silang (*cross-link*) yang kuat. Resin Epoksi mengeras lebih cepat pada selang temperatur 5° - 150° C. Namun, hal ini bergantung pula pada jenis *hardener* yang digunakan.

Jenis *hardener* yang digunakan dalam polimerisasi resin epoksi adalah :

- *Triethylenetetramine* (TETA) merupakan senyawa organik dengan rumus $[\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2]_2$. TETA adalah cairan berminyak yang

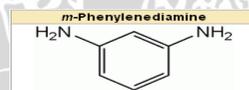
larut dalam pelarut polar dan menunjukkan reaksi khas untuk larutan amina. *Triethylenetetramine* dibuat dengan pemanasan *Etilendiamina* atau *Etanolamin* / campuran amonia melalui katalis oksida. Proses ini memberikan berbagai amina, yang dipisahkan oleh distilasi dan sublimasi. Gambar ikatan dari *Triethylenetetramine* dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Ikatan *Triethylenetetramine*

Sumber : <http://en.wikipedia.org/wiki/Triethylenetetramine>

- *Methaphenylene–Diamine* (MPDA) juga disebut 1,3-diaminobenzene, senyawa organik dengan rumus kimia $C_6H_4(NH_2)_2$. *Methaphenylene – Diamine* adalah isomer dari *o-fenilendiamin* dan *p-fenilendiamin*. *Methaphenylene – Diamine* dibuat dari hidrogenasi 1,3dinitrobenzene. *Dinitrobenzene* ini adalah bentukan dari *dinitration benzene*. Gambar ikatan dari *Methaphenylene–Diamine* dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ikatan *Methaphenylene–Diamine*

Sumber : <http://en.wikipedia.org/wiki/M-Phenylenediamine>

2.2.2 Karakteristik Mekanik Resin Epoksi

Kekuatan mekanik resin epoksi dapat ditinjau dari kemampuan menahan beban dari dalam atau luar, pada prakteknya adalah beban tekan. Nilai kekuatan tekan (σ) diperoleh dengan memasukkan nilai gaya tekan (F) maksimum yang terbaca dan luas permukaan sampel (A) berdasarkan rumus :

$$P = \frac{F}{A} \quad (2-1)$$

dengan,

P : Nilai kuat tekan (N/cm²)

F : Gaya tekan (N)

A : Luas permukaan sampel (cm²)

2.2.3 Karakteristik Elektrik Resin Epoksi

Karakteristik elektrik resin epoksi dapat ditentukan dengan memperhatikan beberapa besaran elektrik yang patut diketahui, yaitu :

a. Kekuatan Hancur Dielektrik / Bahan Isolasi

Sejauh mana isolator dapat bertahan terhadap tegangan listrik bergantung pada kekuatan hancur dielektrik. Tegangan listrik maksimum yang dapat ditahan suatu isolator tanpa merusak sifat isolasinya ini dapat dinyatakan dengan rumus :

$$E = U_{hd} / t^n \quad (2-2)$$

dengan,

E : Kekuatan hancur dielektrik (kV/mm)

U_{hd} : Tegangan tembus dielektrik / material isolasi (kV)

t^n : ketebalan (mm)

n : konstanta yang ditentukan dari jenis tegangan uji ($n=0$ untuk tegangan arus searah; $n= 0,3-0,5$ untuk tegangan bolak balik)

Kekuatan hancur dielektrik polimer merupakan kekuatan hancur termal bahan tersebut. Perubahan kekuatan hancur dielektrik dipengaruhi oleh lingkungannya. Apabila tegangan hancur dielektrik suatu media sekeliling isolator besar maka kekuatan hancur dielektriknya menjadi besar. Hal ini terjadi terutama pada arus bolak balik.

Kekuatan hancur dielektrik dari bahan polimer pada umumnya berkurang apabila temperature dinaikkan, demikian halnya terhadap kadar air. Oleh karena itu, tanpa perlakuan yang cukup untuk menghilangkan bahan higroskopik dari berbagai bahan yang dipakai untuk polimer seperti perekat, kekuatan tersebut sangat berkurang karena absorpsi air. Dan untuk tegangan AC untuk waktu yang lama, bahan akan rusak walaupun tegangan rusak.

b. Tahanan Isolasi

Apabila tegangan DC diberikan pada isolator yang terbuat dari bahan polimer, arus listrik akan melalui bagian dalam dan permukaannya. Perbandingan tegangan DC yang diberikan dan arus listrik total disebut tahanan isolasi, untuk perbandingan antara tegangan dengan arus listrik (dalam volume) disebut tahanan volume, dan perbandingan antara tegangan dengan arus permukaan disebut tahanan permukaan.

c. Resistivitas

Sesuai dengan fungsinya, bahan isolasi yang baik adalah bahan isolasi yang resistivitasnya tak terhingga. Tetapi pada kenyataannya bahan yang demikian itu belum bisa diperoleh. Resistansi listrik untuk isolator bervariasi antara $351\text{M}\Omega$ sampai tidak hingga Ω dan memiliki nilai resistivitas $> 10^7\Omega\cdot\text{m}$. Sampai saat ini semua bahan isolasi pada teknik listrik masih mengalirkan arus listrik (walaupun kecil) yang lazim disebut arus bocor. Hal ini menunjukkan bahwa resistansi bahan isolasi bukan tidak terbatas besarnya. Besarnya resistansi bahan isolasi sesuai dengan Hukum Ohm adalah :

$$R_i = U / I_b \quad (2-3)$$

dengan,

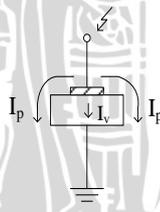
R_i : resistansi isolasi (ohm)

U : tegangan yang digunakan (volt)

I_b : arus bocor (ampere)

Resistansi R_i merupakan hasil dari resistansi paralel dari resistansi volume (R_v) dan resistansi permukaan (R_p)

Arus yang mengalir pada resistansi volume (R_v) adalah arus bocor I_v dan arus yang mengalir pada resistansi permukaan (R_p) adalah arus bocor I_p , seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Arus Bocor I_v dan I_p Pada Bahan Isolasi

Sumber : Priowirjanto (2003 :27)

Seperti terlihat pada Gambar 2.4 R_v dan R_p adalah paralel. Sehingga berdasarkan Hukum Kirchoff 1 :

$$I_b = I_v + I_p$$

$$1/R_i = 1/R_v + 1/R_p$$

$$R_i = (R_v \cdot R_p) / (R_v + R_p)$$

Resistivitas volume pada umumnya disebut resistivitas saja. Besarnya resistivitas volume adalah :

$$R_v = \rho_v l / S \quad (2-4)$$

Dengan,

ρ_v : resistivitas volume dengan (Ω -m)

l : panjang bagian yang dilewati arus (m)

S : luas penampang (m^2)

Besarnya resistivitas permukaan di antara 2 bidang selebar b pada jarak a adalah :

$$R_p = \rho_s (a/ b) \quad (2-5)$$

Dengan,

ρ_s : resistivitas permukaan (Ω)

d. Permittivitas

Setiap bahan isolasi mempunyai permitivitas. Hal ini bagi bahan -bahan yangdigunakan sebagai elektrik kapasitor. Kapasitansi suatu kapasitor tergantung beberapafaktor yaitu : luas permukaan, jarak antara keping-keping kapasitor serta dielektriknya. Besarnya kapasitansi C (farad) dapat dihitung dengan :

$$C = \frac{10^{-9} \times \epsilon_r \times A}{36 \pi d} \quad (2-6)$$

dengan,

ϵ : permitivitas bahan elektrik (F/m)

d : jarak keeping – keeping kapasitor (m)

A : luas permukaan keping – keping kapasitor (m^2)

Besarnya permitivitas udara hampir 1 yaitu 1.000.589, sedangkan besarnya permitivitas untuk zat padat dan zat cair selalu lebih besar dari 1.

e. Arus Bocor

Secara definisi arus bocor atau leakage current adalah arus yang mengalir pada bahan dielektrik atau non konduktif contoh isolasi ketika dibebani oleh tegangan tinggi akan mengalir arus walaupun kecil. Arus bocor dapat diketahui melalui pengukuran, namun juga dapat diketahui melalui perhitungan, dengan rumus :

$$I_b = U / R \quad (2-7)$$

dengan,

I_b : arus bocor (ampere)

R : resistansi resin epoksi (ohm)

U : tegangan yang digunakan (volt)

Menurut PUIL 2000, arus bocor yang diijinkan pada isolator adalah 30mA. Sedangkan Arus reaksi adalah arus yang terkecil yang dapat menakibatkan orang menjadi terkejut, hal ini cukup berbahaya karena dapat mengakibatkan kecelakaan sampingan. Karena terkejut orang dapat jatuh dari tangga, melemparkan peralatan yang sedang dipegang yang dapat mengenai bagian-bagian instalasi bertegangan tinggi sehingga terjadi kecelakaan yang lebih fatal. Penyelidikan yang terperinci telah dikemukakan oleh dr. Hans Prinz dimana batasan-batasan arus tersebut dituangkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Batasan – batasan Arus dan Pengaruhnya Terhadap Manusia

Besar Arus (mA)	Pengaruhnya pada Tubuh Manusia
0-0,9	Belum dirasakan pengaruhnya, tidak menimbulkan reaksi apa-apa.
0,9-1,2	Baru terasa adanya arus listrik, tetapi tidak menimbulkan akibat kejang, kontraksi atau kehilangan kontrol.
1,2-1,6	Mulai terasa seakan-akan ada yang merayap di dalam tangan.
1,6-6	Tangan sampai ke siku merasa kesemutan.
6-8	Tangan mulai kaku, rasa kesemutan semakin bertambah.
13-15	Rasa sakit tidak tertahankan, penghantar masih dapat dilepaskan dengan gaya yang besar sekali.
15-20	Otot tidak sanggup lagi melepaskan penghantar.
20-50	Dapat mengakibatkan kerusakan pada tubuh manusia.
50-150	Sakit yang luar biasa, pernapasan tertahan, otot berkontraksi keras, mungkin menyebabkan kematian
1000-4300	<i>Ventricular Fibrillation</i> (jantung kehilangan irama denyut), kontraksi otot dan kerusakan syaraf terjadi. Sangat mungkin terjadi kematian.
10000	Jantung tertahan, tubuh terbakar, menyebabkan kematian.

Sumber : Nuril Fifana (2006 : 3)

2.2.4 Karakteristik Kimia Resin Epoksi

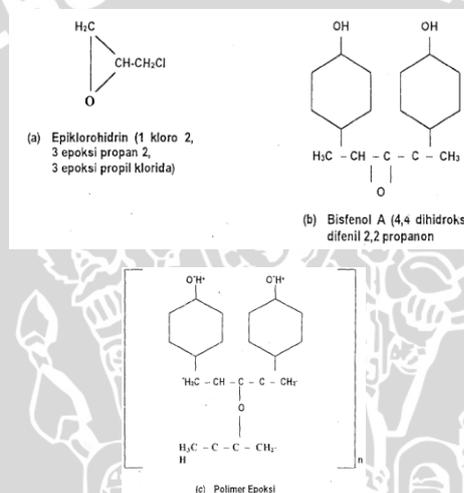
Karakteristik kimia pada resin epoksi dipengaruhi oleh kadar pemakaian *hardener*. Pengaruh tersebut meliputi pada tingkat viskonitas, intensitas dan jenis *diluents* dan *filler* yang digunakan pada resin epoksi.

2.2.5 Karakteristik Fisik Resin Epoksi

Epoxy resin adalah termasuk kelompok plastik thermosetting. Yaitu tidak meleleh lagi jika dipanaskan. Pengerasannya terjadi karena reaksi polimerisasi, bukan pembekuan. Oleh karena itu epoksi resin tidak mudah di-*recycle*.

2.2.6 Pengaruh Kadar *Hardener* Terhadap Karakteristik Mekanik dan Karakteristik Elektrik Resin Epoksi

Kadar *hardener* akan mempengaruhi berat jenis dan kuat tekan dari resin epoksi. Perbandingan yang sama antara kadar *hardener* dengan resin epoksi membentuk sebuah ikatan silang yang sempurna seperti pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Struktur Kimia Dari Bisfenol A, Epiklorohidrin dan Polimer Epoksi

Sumber : Wa Ode Zulkaida (2007:3)

Untuk perbandingan kadar *hardener* yang lebih besar dari resin, maka kuat tekan dari resin akan semakin bertambah sehingga amplitude vibrasi lebih besar dan stress kompresif menurun, sehingga mobilitas pembawa-pembawa muatan berkurang. Hal ini menyebabkan nilai konduktivitas bahan akan semakin kecil, sehingga nilai resistivitas dari resin epoksi tersebut akan semakin besar.

Untuk perbandingan kadar *hardener* yang lebih kecil dari resin, maka kuat tekan dari resin akan semakin berkurang sehingga amplitude vibrasi lebih kecil dan stress kompresif meningkat, sehingga mobilitas pembawa-pembawa muatan bertambah. Hal ini menyebabkan nilai konduktivitas bahan akan semakin besar, sehingga nilai resistivitas dari resin epoksi tersebut akan semakin kecil.

2.3 *Partial Discharge* dan Kegagalan Bahan Isolasi

Partial discharge (peleluhan parsial) adalah peristiwa pelepasan/loncatan bunga api listrik yang terjadi pada suatu bagian isolasi (pada rongga dalam atau pada permukaan) sebagai akibat adanya beda potensial yang tinggi dalam isolasi tersebut. *Partial discharge* dapat terjadi pada bahan isolasi padat, bahan isolasi cair maupun bahan isolasi gas.

Mekanisme kegagalan pada bahan isolasi padat meliputi kegagalan asasi (intrinsik), elektro mekanik, streamer, thermal dan kegagalan erosi. Kegagalan pada bahan isolasi cair disebabkan oleh adanya kavitasi, adanya butiran pada zat cair dan tercampurnya bahan isolasi cair. Pada bahan isolasi gas mekanisme townsend dan mekanisme streamer merupakan penyebab kegagalan. Dari uraian di atas menunjukkan bahwa kegagalan isolasi ini berkaitan dengan adanya *Partial discharge*.

Pengukuran *Partial discharge* pada peralatan tegangan tinggi merupakan hal yang sangat penting karena dari data data yang diperoleh dan interpretasinya dapat ditentukan reabilitas suatu peralatan yang disebabkan oleh penuaan (*aging*) dan resiko kegagalan dapat dianalisa. Spesifikasi pengujian *Partial discharge* tergantung pada tipe peralatan tes dan bahan isolasi yang digunakan pada proses konstruksi suatu peralatan.

2.4 *Pembangkitan Tegangan Tinggi Bolak-Balik*

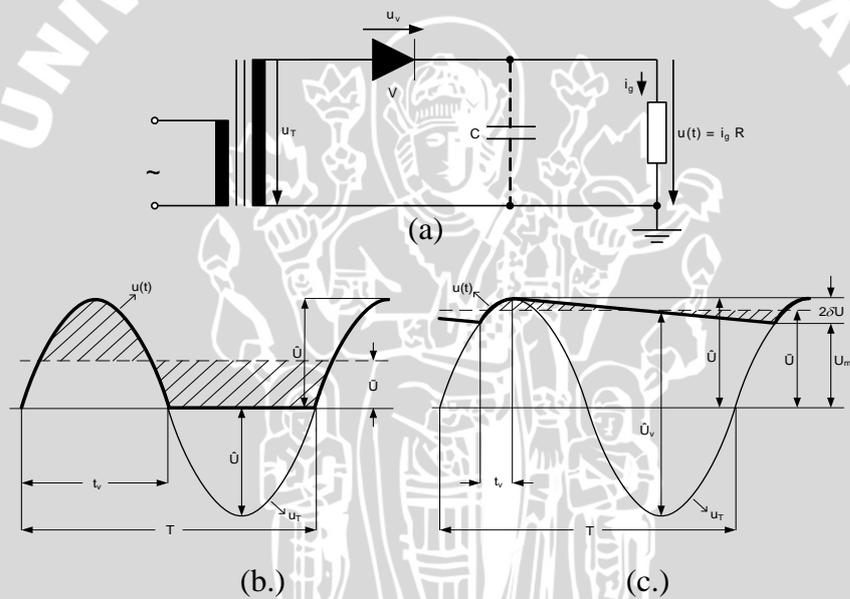
Untuk membangkitkan tegangan tinggi bolak-balik di laboratorium, maka digunakan transformator uji tegangan tinggi tiga belitan (dapat digunakan untuk rangkaian bertingkat kaskade). Jenis transformator ini memiliki perbandingan belitan yang sangat besar antara belitan tegangan tinggi H dan belitan tegangan rendah atau eksitasi E.

Transformator uji tegangan tinggi tersebut mampu menghasilkan tegangan yang sangat tinggi namun menyerap daya yang lebih rendah dibanding dengan trafo daya. Keuntungan lainnya ialah dapat membangkitkan tegangan tinggi hingga di atas ratusan kV dengan menyusun beberapa trafo uji tersebut secara seri atau susunan kaskade.

2.5 Pembangkitan Tegangan Tinggi Searah

Pembangkitan tegangan tinggi searah yang paling sederhana diperlihatkan pada Gambar 2.6(a) Sebuah transformator uji tegangan tinggi dihubungkan dengan beban R melalui sebuah dioda penyearah ideal V. Tegangan sekunder trafo yang berbentuk sinusoida dengan nilai puncak \hat{U} akan disearahkan terlebih dahulu oleh dioda.

Bentuk keluaran gelombang tegangan yang telah disearahkan dapat dilihat pada Gambar 2.6(b) dan 2.6(c). Terlihat pada Gambar 2.6(c), dengan memasang kapasitor C secara paralel dengan beban akan didapatkan gelombang tegangan yang rata dalam keadaan mantap dibanding tanpa kapasitor. Jadi fungsi kapasitor C ialah sebagai filter atau perata bentuk gelombang tegangan keluaran dari dioda.



Gambar 2.6 Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi Searah dengan Metode Penyearah Setengah Gelombang

- (a) Rangkaian Pengganti
- (b) Bentuk Gelombang Tegangan Beban Tanpa Kapasitor Perata C
- (c) Bentuk Gelombang Tegangan Beban Dengan Kapasitor Perata C

Sumber: Dieter Kind, 1993: 19

Untuk Gambar 2.6(c), tegangan searah pada beban $u(t)$ akan mengandung tegangan cacat atau ripel tegangan, sehingga berlaku persamaan:

$$\bar{U} \approx \hat{U} - \delta U \tag{2-8}$$

Semakin rata gelombang tegangan beban, maka besar ripple tegangan akan semakin kecil dan periode konduksi dioda t_v akan menjadi lebih singkat. Besar tegangan balik yang harus ditahan oleh dioda ialah:

$$\hat{U}_V \approx 2\hat{U}_T \quad (2-9)$$

Dengan melihat kembali Gambar 2.6(c), maka besar ripple tegangan dapat dicari yaitu:

untuk $t_v \ll T = \frac{1}{f}$ dan $\delta U \ll \bar{U}$, maka perubahan muatan pada kapasitor perata

selama periode padam adalah:

$$2 \delta UC \approx \int_0^T i_g dt = T \bar{I}_g \quad (2-10)$$

$$\delta U = \bar{I}_g \frac{1}{2fC} \quad (2-11)$$

$$\delta U = \frac{\bar{U}}{R} \frac{1}{2fC} \quad (2-12)$$

Pada rangkaian pengujian besar R pada persamaan (2-12) sama dengan R_M yaitu 280 M Ω dan besar C pada persamaan (2-12) sama dengan C_M yaitu 10.000 pF. Dengan frekuensi 50 herz maka nilai δU dapat dihitung, yaitu :

$$\delta U = \frac{\bar{U}}{280 \times 10^6} \frac{1}{2 \times 50 \times 10^{-8}}$$

$$\delta U = 3,57 \times 10^{-3} \bar{U} \quad (2-13)$$

dengan persamaan (2-8), besar \hat{U} adalah:

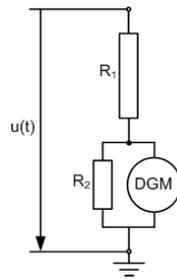
$$\hat{U} \approx \bar{U} + \delta U \quad (2-14)$$

$$\hat{U} \approx \bar{U} + 3,57 \times 10^{-3} \bar{U}$$

$$\hat{U} \approx \bar{U} (1 + 3,57 \times 10^{-3})$$

$$\hat{U} \approx \bar{U} \quad (2-15)$$

Karena nilai δU jauh lebih kecil dari nilai \bar{U} , maka pada pengujian nilai δU dapat diabaikan. Untuk melakukan pengukuran tegangan tinggi searah, salah satu metode yang digunakan ialah dengan bantuan resistor tegangan tinggi yang mempunyai nilai tahanan sangat besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pengukuran Tegangan Tinggi Searah dengan Suatu Resistor Seri atau Pembagi Resistif

Sumber: Dieter Kind, 1993: 19

Pada percobaan, R_1 sama dengan R_M yaitu sebesar $280 \text{ M}\Omega$, dan R_2 yang digunakan dalam percobaan adalah 280Ω . Rangkaian pada pengujian DC hampir sama dengan rangkaian pada pengujian AC.

2.6 Pagar, Penumaian, dan Perisai untuk Instalasi Percobaan

Pagar, penumaian, dan perisai untuk laboratorium penelitian tegangan tinggi dimaksudkan untuk meniadakan bahaya terhadap manusia, instalasi, dan peralatan. Daerah berbahaya dari rangkaian tegangan tinggi harus dibatasi atau diamankan dengan dinding atau pagar besi terhadap masuknya orang dengan tidak sengaja. Tempat masuk menuju daerah berbahaya harus dilengkapi dengan kunci yang dapat mengakibatkan pelepasan muatan hubungan elektrik secara otomatis.

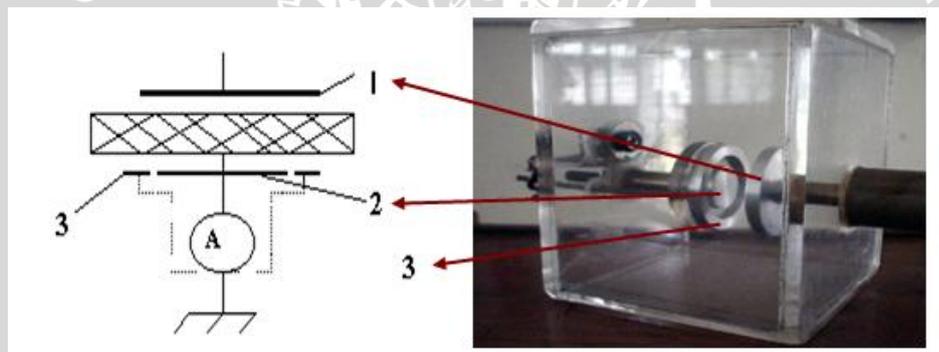
Percobaan tegangan tinggi merupakan percobaan yang mempunyai resiko yang sangat tinggi. Sehingga untuk menjaga keselamatan dan meredam gangguan yang ditimbulkan oleh pemakaian tegangan tinggi, maka semua peralatan yang bersifat metal atau logam yang dalam keadaan normal atau kerja harus dibumikan sehingga mempunyai potensial yang sama dengan tanah.

Pada percobaan tegangan tinggi, proses tembus dalam rangkaian tegangan tinggi terjadi gelombang elektromagnetik yang dapat mengakibatkan gangguan pada daerah sekitarnya. Pengalaman menunjukkan bahwa gangguan lingkungan terhadap pengukuran tegangan tinggi yang peka pada umumnya lebih kuat dari pada gangguan yang ditimbulkan oleh penelitian tegangan tinggi terhadap lingkungan. Hal ini dikarenakan pulsa-pulsa pengganggu pada rangkaian tegangan tinggi berlangsung sangat singkat sedangkan gangguan luar misalnya motor

kendaraan pengangkut yang tidak terawat ataupun motor elektrik mengakibatkan gangguan yang permanen. Untuk menghilangkan gangguan dari luar dan sekaligus meniadakan pengaruh terhadap lingkungan maka dapat digunakan pembungkus logam tertutup sebagai suatu sangkar Faraday.

2.7 Pengukuran Resistivitas

Untuk mencari nilai resistivitas, pertama yang perlu dilakukan adalah mengukur besar arus bocor pada rangkaian pembangkitan tegangan tinggi searah dengan menggunakan wadah yang telah didesain khusus, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16. Wadah ini terdiri dari susunan elektroda yang terdiri dari elektroda tegangan tinggi, elektroda ukur dengan diameter 2 cm, dan elektroda cincin pengaman. Untuk mendapatkan nilai resistivitasnya pertama maka perlu diketahui besar arus bocor.



Gambar 2.8 Wadah Uji yang Digunakan untuk Pengujian Resistivitas dan Permittivitas

1. Elektroda Tegangan Tinggi
2. Elektroda Ukur
3. Elektroda Cincin Pengaman

Sumber: Dieter kind (1993; 67)

Rangkaian pengujian arus bocor pada rangkaian pembangkitan tegangan tinggi searah untuk mencari nilai resistivitas dari resin epoksi yang diuji dalam penelitian ini. Nilai resistivitas dapat dicari dari nilai tahanan (Ω) resin epoksi yang diuji dengan cara perhitungan dari arus bocornya pada tegangan yang diberikan dengan menggunakan Hukum Ohm, yaitu:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2-16)$$

dengan,

R : tahanan (Ω)

V : tegangan yang diberikan (V)

I : arus bocor (A)

Pada pengujian ini, jarak sela yang diterapkan antar elektroda adalah setebal dari resin epoksi. Tegangan dinaikkan hingga amperemeter membaca arus bocor yang mengalir. Dari besar tahanan yang telah didapat, maka resistivitasnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\rho = \frac{R \times A}{l} \quad (2-17)$$

dengan,

ρ : resistivitas ($\Omega\text{-m}$)

R : tahanan (Ω)

A : luas permukaan elektroda ukur (m^2)

l : jarak sela antar elektroda (m)

Konduktivitas adalah ukuran kemampuan konduktor menghantarkan arus listrik. Isolator yang baik adalah isolator yang memiliki nilai konduktivitas kecil. Besar konduktivitas dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2-18)$$

dengan,

ρ : resistivitas (Ωm)

σ : konduktivitas ($\Omega\text{-m}$)⁻¹

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Isolator yang baik harus memiliki kekuatan dielektrik yang baik. Kekuatan dielektrik adalah ukuran dari suatu isolator untuk bisa bertahan terhadap tegangan tinggi tanpa berakibat terjadi kegagalan atau tembus. Kekuatan dielektrik tersebut dapat diketahui melalui besar resistivitas, konduktivitas, medan distribusi dan arus bocor dari bahan isolator tersebut. Penurunan mutu isolasi suatu isolasi akan berdampak pada penurunan tegangan kegagalan atau arus bocor yang terjadi.

Pengujian karakteristik resin epoksi sebagai alternatif dari isolasi padat bertujuan untuk mengetahui karakteristik dielektrik pada distribusi medan listrik yang seragam. Pengujian karakteristik dielektrik resin epoksi meliputi pengujian arus bocor, resistivitas, konduktivitas dan permitivitas. Selanjutnya untuk mengetahui distribusi medan listriknya, dapat dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak Femm 4.2.

Literatur-literatur yang dipelajari, diperlukan untuk mendukung penelitian ini antara lain dengan mempelajari buku-buku literatur maupun dari situs internet untuk menjangkau dan mendukung dalam penyusunan penelitian ini antara lain mengenai sifat-sifat dan karakteristik resin epoksi, mekanisme kegagalan isolasi zat padat, distribusi medan listrik, dan literatur-literatur pendukung lainnya.

3.2 Objek Uji

Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan adalah jenis *hardener* dan komposisi *hardener* yang akan dicampurkan pada resin epoksi agar terjadi polimerisasi. Jenis *hardener* yang dipakai adalah *Methaphenylene-Diamine* dan *Triethylenetetramine* yang dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 *Methaphenylene-Diamine* dan *Triethylenetetramine*

Sumber: Perencanaan

Sedangkan variasi kadar *hardener* yang akan dipakai adalah

- Untuk *hardener* jenis *Methaphenylene-Diamine*, besar kadar *hardener* yang akan dicampurkan pada resin epoksi adalah 30%, 40%, 50%, 60%, 70%.
- Untuk *hardener* jenis *Triethylenetetramine*, besar kadar *hardener* yang akan dicampurkan pada resin epoksi adalah 40%, 50%, 60%, 70%. Untuk pencampuran resin dengan kadar *hardener* 30%, tidak dapat dilakukan pengujian, dikarenakan resin epoksi yang terbentuk tidak dapat menjadi padat (proses polimerisasi kurang).

Dalam pengujian, resin epoksi diletakkan diantara dua elektroda. Sedangkan elektroda yang dipakai dalam pengujian adalah jenis bola-bola, dikarenakan pada elektroda bola-bola, memiliki efisiensi distribusi medan yang paling baik dibandingkan elektroda-elektroda yang lain.

3.3 Rangkaian Pengujian

Rangkaian pengujian yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dielektrik resin epoksi adalah rangkaian pambangkitan tegangan tinggi bolak-balik dan rangkaian pambangkitan tegangan tinggi searah. Untuk susunan rangkaian pambangkitan tegangan tinggi searah yang digunakan pada pengujian ini adalah rangkaian polaritas negatif.

Komponen-komponen peralatan pengujian yang digunakan dalam rangkaian pengujian antara lain (Buku manual (*manual book*) peralatan tegangan tinggi Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya):

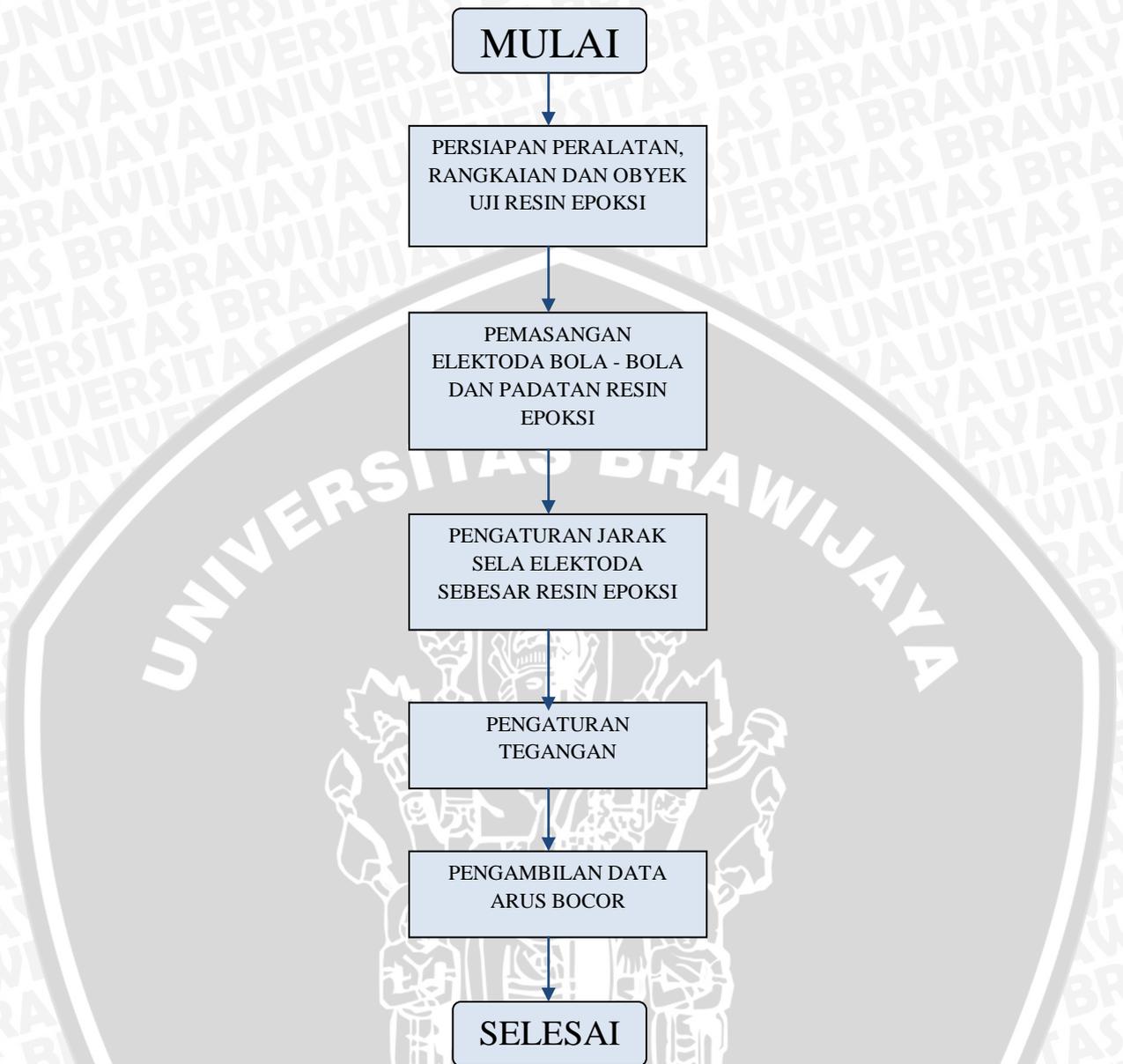
- a. Trafo uji (TU) sebagai sumber tegangan tinggi. Trafo uji yang ada di Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya adalah trafo tegangan tinggi 220 V / 100 kV, 3 belitan.
- b. Dioda (D) tegangan tinggi sebagai penyearah tegangan tinggi. Dioda yang tersedia mempunyai kemampuan menerima tegangan balik maksimum sebesar 140 kV, oleh karena itu dalam rangkaian diperlukan dua buah dioda untuk mengatasi tegangan balik yang besarnya dua kali dari tegangan puncak trafo uji.
- c. Kapasitor (C_M) dan resistor (R_M). Kapasitor digunakan untuk meratakan tegangan riak dari dioda penyearah. Resistor (R_M) digunakan untuk memperbesar batas ukur dan pengaman instrumen DGM.
- d. DGM adalah alat ukur untuk tegangan tinggi searah. DGM dalam rangkaian diseri dengan resistor (R_M).

3.4 Prosedur Pengujian

3.4.1 Pengujian Arus Bocor

Pengujian Arus bocor ini dilakukan untuk mengetahui besar arus listrik yang mengalir pada tegangan kerja yang diberikan. Tegangan kerja yang diberikan tidak boleh melebihi tegangan tembus, atau dengan kata lain, pada saat pengujian arus bocor tidak boleh terjadi tembus, karena pada saat terjadi tembus arus yang mengalir bukanlah arus bocor, melainkan arus hubung singkat. Berikut adalah prosedur pengujian arus bocor pada resin epoksi :

- a. Bahan obyek uji yaitu resin epoksi yang telah dipadatkan diletakkan diantara elektroda bola-bola.
- b. Rangkaian percobaan yang digunakan adalah rangkaian pembangkitan tegangan tinggi bolak – balik (AC).
- c. Elektroda yang digunakan adalah elektroda bola - bola.
- d. Jarak sela (s) antar elektroda sesuai dengan ketebalan resin epoksi.
- e. Tegangan dinaikkan secara bertahap, setiap tahap diukur besar arus bocornya. dan penaikan tegangan tidak boleh mencapai nilai tegangan tembusnya.
- f. Diagram alir untuk pengujian arus bocor pada pengujian arus bocor ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengujian Arus Bocor pada Padatan Isolasi Resin Epoksi

Sumber: Perencanaan

3.4.2 Pengujian Resistivitas dan Permittivitas Resin Epoksi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai resistivitas dan yang dimiliki oleh resin epoksi yang diuji dalam penelitian ini. Untuk mencari nilai resistivitasnya, pertama yang perlu dilakukan adalah mengukur besar arus bocor pada rangkaian pembangkitan tegangan tinggi searah dengan menggunakan wadah yang telah didesain khusus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



(a)

(b)

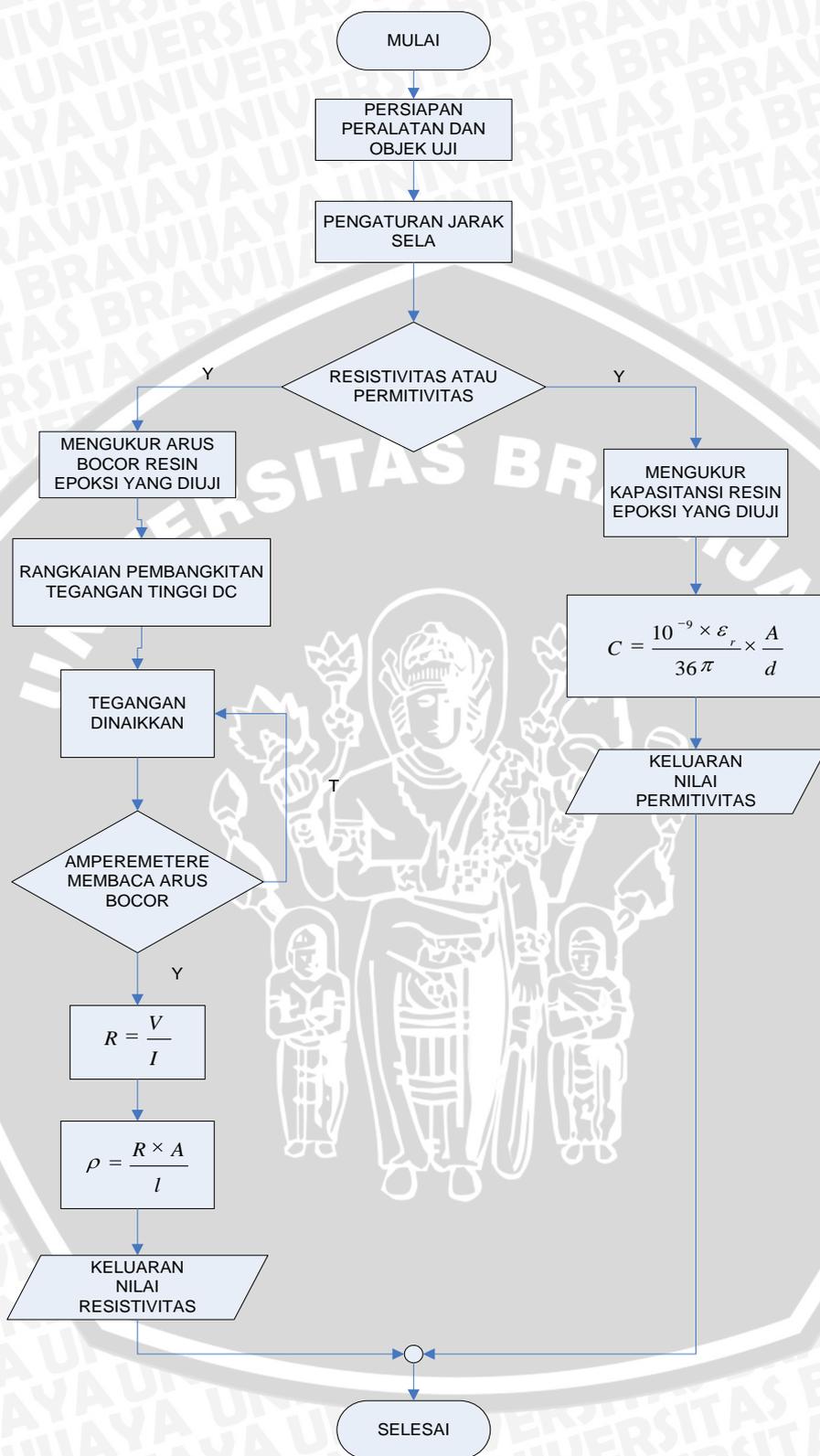
Gambar 3.3 Wadah Uji Resistivitas Resin Epoksi

(a) Resin Epoksi dengan *hardener Methaphenylene Diamine (MPDA)*(b) Resin Epoksi dengan *hardener Triethylemetetramine (TETA)*

Sumber: Perencanaan

Sedangkan untuk alur percobaan uji resistivitas dan permitivitas bahan dapat dilihat pada Gambar 3.4





Gambar 3.4 Diagram Alir Pengujian Resistivitas dan Permittivitas Resin Epoksi

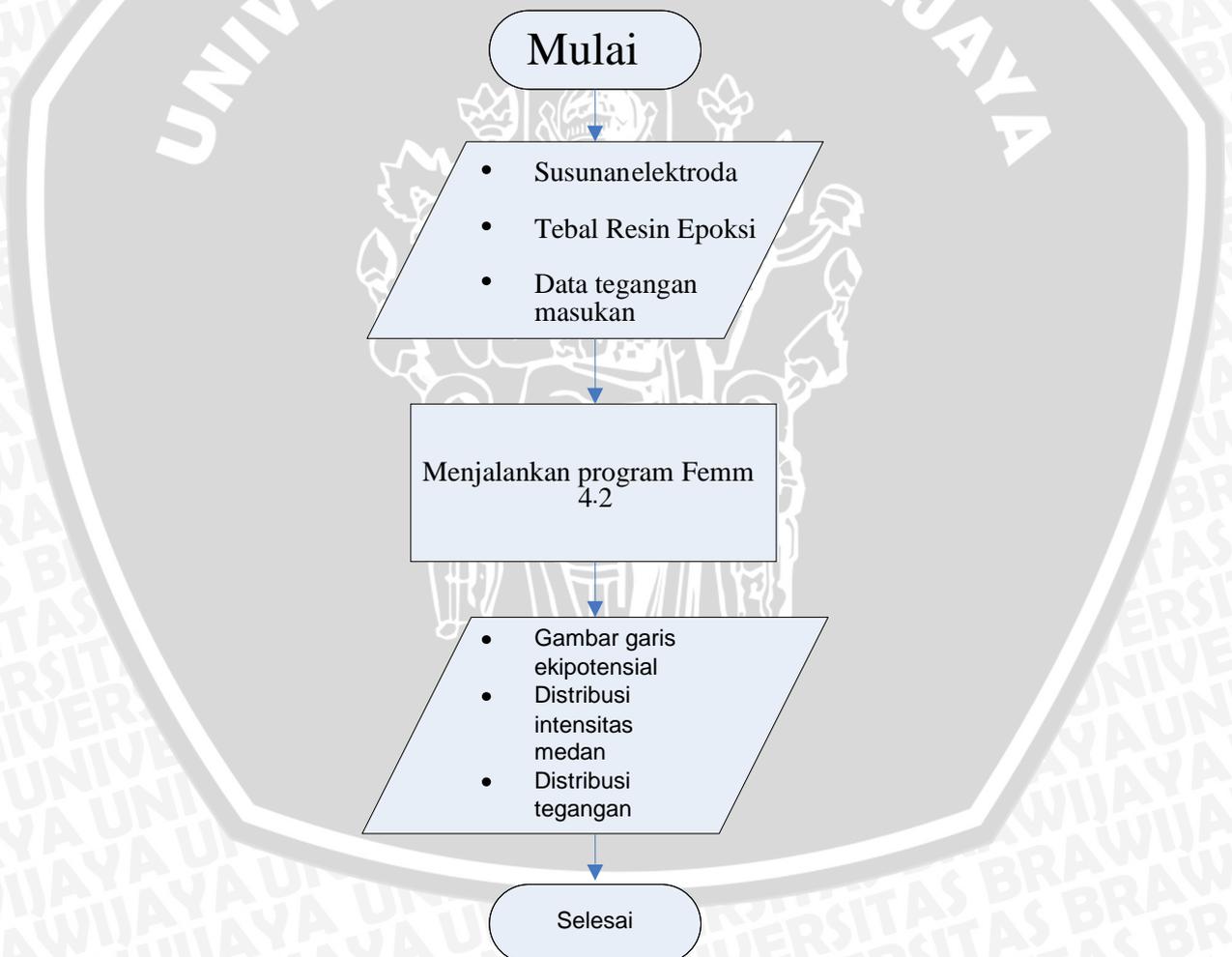
Sumber: Perencanaan



3.4.3 Simulasi Distribusi Medan Listrik pada Pengujian Arus Bocor Padatan Isolasi Resin Epoksi

Distribusi medan listrik pada pengujian arus bocor medan listrik homogen pada padatan isolasi resin epoksi disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak Femm 4.2. Dengan menggunakan data-data dari Hasil pengujian dan hasil perhitungan maka distribusi medan listrik dari penangkap petir yang diuji dalam penelitian ini dapat disimulasikan. Data-data yang diperlukan untuk simulasi adalah bentuk geometris susunan elektoda, jarak sela antar elektroda, tegangan yang dikenakan.

Diagram alir untuk simulasi distribusi medan listrik pengujian tegangan tembus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Alir Simulasi Distribusi Medan Listrik pada Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Padat Resin Epoksi

Sumber: Perencanaan

3.4.4 Pengujian Mekanik Resin Epoksi

Pada pengujian mekanik resin epoksi, pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian kuat tekan. Untuk mengetahui besar kuat tekan dari resin epoksi maka, dilakukan pengujian gaya tekan. Pengujian gaya tekan menggunakan mesin kompresi yang dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Mesin Kompresi

Sumber: Laboratorium Uji Bahan Teknik Sipil Universitas Brawijaya

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada bab ini, akan dianalisa pengaruh dari beberapa parameter terhadap karakteristik resin epoksi dengan berbagai jenis dan komposisi kadar *hardener*. Parameter-parameter tersebut adalah arus bocor, resistivitas, konduktivitas, permitivitas dan medan distribusi.

Distribusi medan listrik menggunakan perangkat lunak femm 4.2. Dengan menggunakan data-data yang diperoleh dari Hasil pengujian dan hasil perhitungan, maka distribusi medan listrik dari resin epoksi yang diuji dalam penelitian ini dapat disimulasikan.

4.2 Resin Epoksi

Resin epoksi yang digunakan pada pengujian ini menggunakan jenis *hardener Triethylemetetramine (TETA)* dan *Methaphenylene–Diamine (MPDA)*. Komposisi *hardener* yang akan dicampurkan untuk jenis *hardener Methaphenylene–Diamine (MPDA)* adalah 30%; 40%; 50%; 60%; 70% dan untuk jenis *hardener Triethylemetetramine (TETA)* adalah 40%; 50%; 60%; 70%, untuk komposisi 30% tidak diuji, karena resin yang terbentuk tidak dapat menjadi padat. Hasil dari pencampuran resin pada masing2 jenis dan komposisi *hardener* dapat dilihat pada gambar 4.1 (a) dan (b).



Gambar 4.1 Hasil Cetakan Resin Epoksi dengan Jenis *Hardener* yang Berbeda

(a) Menggunakan *hardener* jenis *Triethylenetetramin (TETA)*.

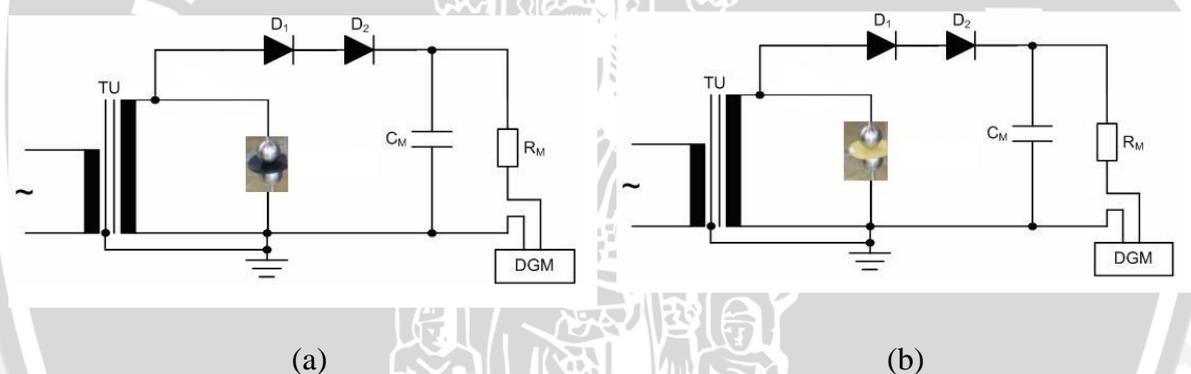
(b) Menggunakan *hardener* jenis *Methaphenylene–Diamine (MPDA)*.

Sumber : Hasil pengujian

Ditinjau secara fisik, dapat dirasakan bahwa resin epoksi dengan komposisi *hardener* 50% memiliki kepadatan yang paling keras dibandingkan dengan komposisi lainnya. Hal ini dikarenakan pada polimerisasi resin epoksi dengan komposisi 50% mengalami pencampuran yang membentuk ikat silang (*cross-link*) yang kuat antara resin dengan *hardener*.

4.3 Pengaruh Kadar dan Jenis *Hardener* Terhadap Arus Bocor pada Resin Epoksi

Pada pembahasan ini, karakteristik arus bocor resin epoksi diuji menggunakan dua macam *hardener* yang berbeda yang diletakkan pada tengah dari dua elektroda bola-bola dengan pengujian tegangan tinggi AC mencapai 15 kV. Gambar 4.2 (a) dan (b) merupakan rangkaian pengujian arus bocor pada resin epoksi.



Gambar 4.2 Rangkaian Pengujian Arus Bocor

(a) Resin Epoksi dengan *hardener* *Methaphenylene-Diamine* (MPDA)

(b) Resin Epoksi dengan *hardener* *Triethylemetetramine* (TETA)

Sumber : Hasil pengujian

4.3.1 Pengaruh Kadar *Hardener* Jenis *Triethylemetetramine* (TETA) Terhadap Arus Bocor pada Resin Epoksi

Pada pengujian ini, Resin epoksi yang akan diuji adalah resin epoksi yang menggunakan *hardener* jenis *Triethylemetetramine* (TETA). Besar kadar *hardener* yang akan dicampurkan pada resin epoksi adalah 40%, 50%, 60%, 70%. Pengujian ini dilakukan tiga kali dengan sampel yang berbeda-beda dan dikenakan tegangan yang sama. Pada pengujian ini akan dibandingkan pengaruh

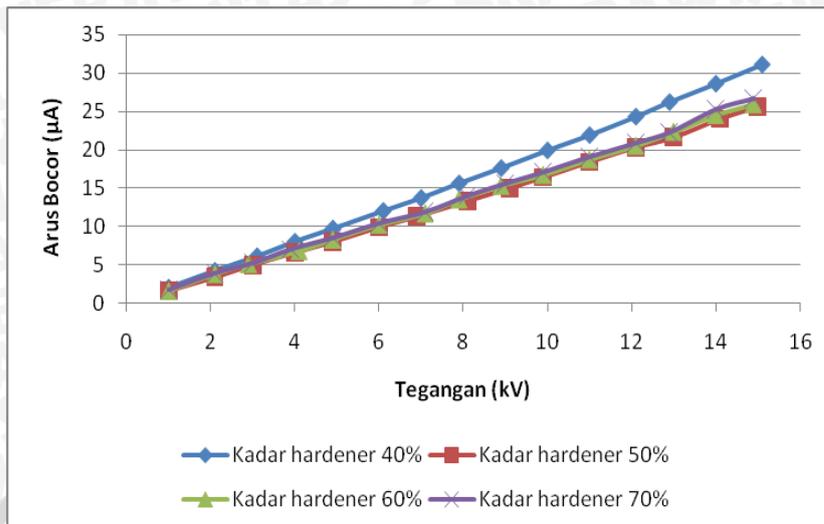
kadar *hardener* dengan nilai arus bocornya pada setiap kenaikan tegangan uji. Pengujian dilakukan pada rangkaian AC dengan tebal resin epoksi 5 mm. Tegangan yang dikenakan adalah 1-15 kV. Pada tabel 4.1 adalah hasil dari pengujian sampel yang pertama.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pengaruh Kadar *Hardener* Jenis *Triethylemetetramine* (TETA) pada Resin Epoksi Terhadap Tingkat Arus Bocor Isolasi (Sampel Pertama)

Kadar <i>Hardener</i> 40%		Kadar <i>Hardener</i> 50%		Kadar <i>Hardener</i> 60%		Kadar <i>Hardener</i> 70%	
E (kV)	I (μ A)						
1	2	1	1.6	1	1.6	1	1.7
2.1	4.2	2.1	3.4	2.1	3.8	2.1	3.9
3.1	6.1	3	5	2.9	5.1	3	5.2
4	8	4	6.6	4.1	6.8	3.9	7
4.9	9.7	4.9	8	4.9	8.3	4.9	8.5
6.1	12	6	9.9	6	10.2	6	10.4
7	13.7	6.9	11.3	7.1	11.7	7.1	11.9
7.9	15.6	8.1	13.3	7.9	13.5	8.1	14
8.9	17.6	9.1	15	8.9	15.3	9	15.6
10	19.9	9.9	16.4	9.9	16.7	9.9	17.1
11	21.9	11	18.4	11	18.7	11	19.1
12.1	24.3	12.1	20.3	12.1	20.5	12.1	20.9
12.9	26.2	13	21.6	13	22.3	12.9	22.3
14	28.6	14.1	24	14	24.5	14	25.3
15.1	31.1	15	25.6	14.9	25.9	14.9	26.7

Sumber : Hasil pengujian

Tabel 4.1 adalah Hasil pengujian arus bocor pada resin epoksi menggunakan *hardener Triethylemetetramine* (TETA) dengan kadar yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan pada rangkaian AC dengan tebal resin epoksi 5 mm. Karakteristik arus bocor dengan kenaikan step tegangan uji sebesar 1-15kV, seperti pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Arus Bocor Resin Epoksi dengan *Hardener Triethylemetetramine (TETA) Sampel Pertama*

Sumber: Hasil pengujian

Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan arus bocor pada setiap kenaikan tegangan uji. Pada kenaikan tegangan uji sebesar 0–5kV, besar arus bocor pada masing-masing resin epoksi memiliki nilai yang tidak jauh berbeda, namun pada kenaikan tegangan uji 6–15kV, terdapat perbedaan nilai arus bocor pada resin epoksi dengan kadar *hardener* berbeda. Pada resin epoksi sampel pertama, didapat bahwa nilai arus bocor terkecil terdapat pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% dan arus bocor terbesar terdapat pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 40%. Sedangkan untuk pengujian sampel kedua dapat dilihat pada Tabel 4.2

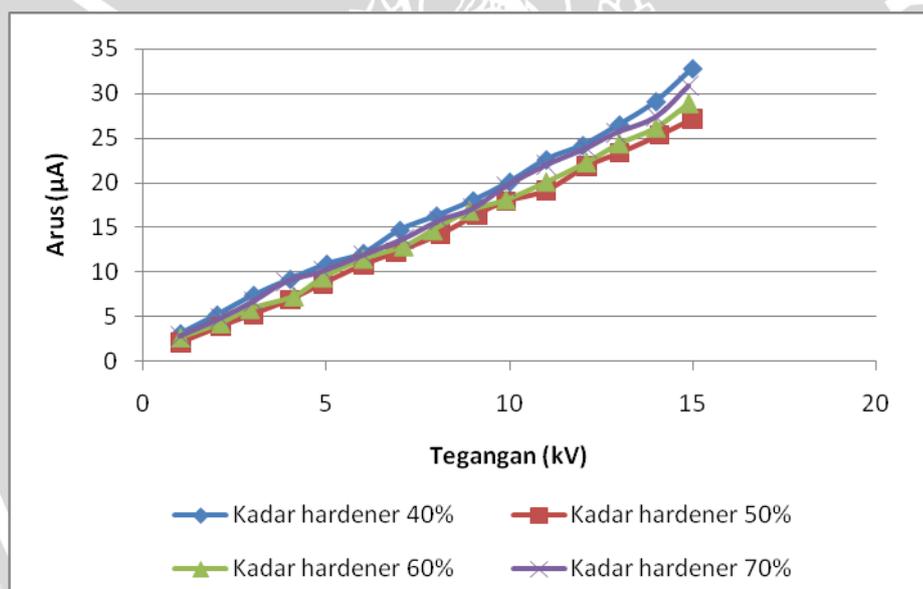
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pengaruh Kadar *Hardener* Jenis *Triethylemetetramine (TETA)* pada Resin Epoksi Terhadap Tingkat Arus Bocor Isolasi (Sampel Kedua)

Kadar <i>Hardener</i> 40%		Kadar <i>Hardener</i> 50%		Kadar <i>Hardener</i> 60%		Kadar <i>Hardener</i> 70%	
E (kV)	I (µA)						
1	2.3	1	1.9	1	2	1	2.2
2.1	4.5	2.1	3.9	2.1	4.1	2.1	4.3
3.1	6.3	3	5.3	2.9	5.5	3	5.9
4	8.2	4	6.6	4.1	7	3.9	7.8

4.9	10.1	4.9	8.4	4.9	9.2	4.9	9.7
6.1	12.2	6	10.6	6	11.2	6	11.8
7	13.9	6.9	11.6	7.1	12	7.1	13.4
7.9	16.1	8.1	13.8	7.9	14.3	8.1	15.3
8.9	18.2	9.1	15.6	8.9	16.2	9	17.9
10	20.2	9.9	16.9	9.9	17.8	9.9	19.3
11	22	11	18.4	11	19.1	11	21.7
12.1	24.3	12.1	20.7	12.1	21.4	12.1	23.5
12.9	26.4	13	22.2	13	23.2	12.9	25.2
14	28.3	14.1	24.3	14	25.3	14	27.1
15.1	30.3	15	26	14.9	26.9	14.9	29.4

Sumber : Hasil pengujian

Dari Tabel 4.2 maka dapat digambarkan berupa grafik sebagai berikut.



Gambar 4.4 Grafik Arus Bocor Resin Epoksi dengan *Hardener* *Triethylemetetramine* (TETA) Sampel Kedua

Sumber : Hasil pengujian

Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan arus bocor pada setiap kenaikan tegangan uji. Pada kenaikan tegangan uji sebesar 0–3kV, besar arus bocor pada masing-masing resin epoksi memiliki nilai yang tidak jauh berbeda, namun pada kenaikan tegangan uji 4–15kV, nilai arus bocor pada masing-masing resin epoksi berbeda. Dari grafik tersebut, juga didapat bahwa

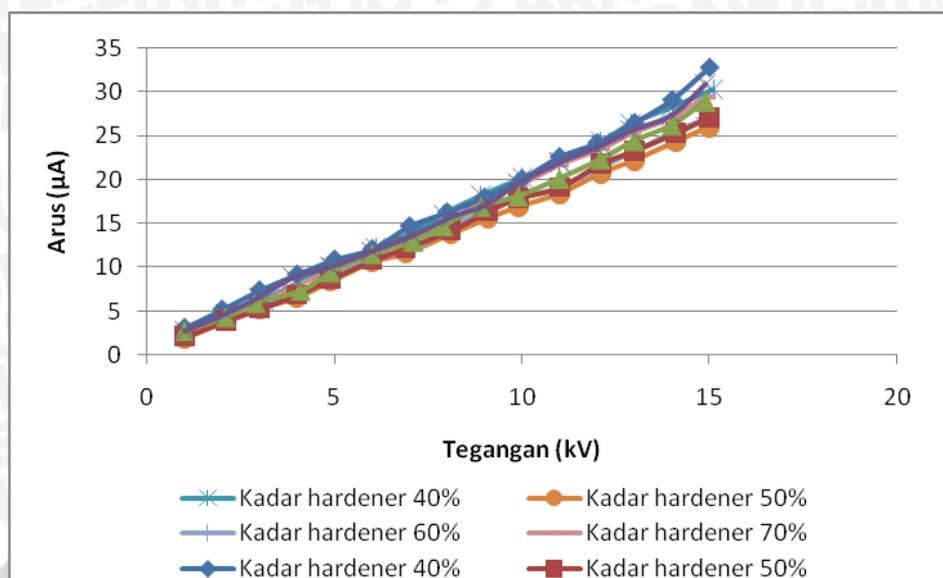
nilai arus bocor terbesar terdapat pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 40% dan nilai arus bocor terkecil terdapat pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 50%. Dan Hasil pengujian dari sampel ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Pengaruh Kadar *Hardener* Jenis *Triethylemetetramine* (TETA) pada Resin Epoksi Terhadap Tingkat Arus Bocor Isolasi (Sampel Ketiga)

Kadar <i>Hardener</i> 40%		Kadar <i>Hardener</i> 50%		Kadar <i>Hardener</i> 60%		Kadar <i>Hardener</i> 70%	
E (kV)	I (μ A)						
1	2.3	1	1.9	1	2	1	2.2
2.1	4.5	2.1	3.9	2.1	4.1	2.1	4.3
3.1	6.3	3	5.3	2.9	5.5	3	5.9
4	8.2	4	6.6	4.1	7	3.9	7.8
4.9	10.1	4.9	8.4	4.9	9.2	4.9	9.7
6.1	12.2	6	10.6	6	11.2	6	11.8
7	13.9	6.9	11.6	7.1	12	7.1	13.4
7.9	16.1	8.1	13.8	7.9	14.3	8.1	15.3
8.9	18.2	9.1	15.6	8.9	16.2	9	17.9
10	20.2	9.9	16.9	9.9	17.8	9.9	19.3
11	22	11	18.4	11	19.1	11	21.7
12.1	24.3	12.1	20.7	12.1	21.4	12.1	23.5
12.9	26.4	13	22.2	13	23.2	12.9	25.2
14	28.3	14.1	24.3	14	25.3	14	27.1
15.1	30.3	15	26	14.9	26.9	14.9	29.4

Sumber : Hasil pengujian

Dan dari Tabel 4.3 didapatkan grafik sebagai berikut.



Gambar 4.5 Grafik Arus Bocor Resin Epoksi dengan *Hardener* *Triethylemetetramine* (TETA) Sampel Ketiga

Sumber : Hasil pengujian

Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan arus bocor pada setiap kenaikan tegangan uji. Pada kenaikan tegangan uji sebesar 0–7 kV , besar arus bocor pada masing-masing resin epoksi memiliki nilai yang tidak jauh berbeda, namun pada kenaikan tegangan uji 8–15 kV , resin epoksi dengan kadar *hardener* 40% memiliki nilai arus bocor yang lebih besar.

Dari ketiga sampel tersebut menunjukkan bahwa resin epoksi dengan kadar *hardener* 40% tetap memiliki nilai arus bocor yang terbesar pada setiap kenaikan tegangan uji. Hal ini dikarenakan pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 40% memiliki arus bocor yang besar pada setiap kenaikan tegangan uji, dikarenakan pada resin tersebut memiliki banyak sekali gelembung udara yang disebabkan berlebihnya volume resin epoksi dibandingkan *hardener*, sehingga polimerisasi berlangsung tidak sempurna. Sedangkan arus bocor terkecil pada setiap kenaikan tegangan uji terdapat pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 50%. Hal ini dikarenakan pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% memiliki gelembung udara paling sedikit, karena polimerisasi bahan terjadi secara sempurna. Sedangkan untuk resin epoksi dengan kadar *hardener* 60% dan 70% memiliki nilai arus bocor yang hamper sama dengan resin epoksi dengan kadar 50%, sehingga dapat disimpulkan bahwa besar *hardener* yang dicampurkan pada

resin epoksi mempengaruhi proses polimerisasi yang menyebabkan besar arus bocor yang mengalir pada resin epoksi memiliki nilai yang kecil.

Isolator yang bagus adalah isolator yang diberi tegangan uji, tidak menimbulkan arus bocor. Pada pengujian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa pada tegangan uji 1-15 kV yang dikenakan pada resin epoksi terdapat arus bocor. Namun arus bocor yang timbul, masih dalam orde mikro Ampere (μA), dan menurut PUIL 2000, arus bocor yang diperbolehkan adalah 30mA, dan arus listik yang dapat dirasakan manusia sebesar 0.9–1.2 mA, sehingga dapat disimpulkan bahwa resin epoksi dapat digunakan sebagai isolator sampai dengan tegangan uji 15 kV.

4.3.2 Pengaruh Hardener Jenis *Methaphenylene–Diamine* (MPDA) Terhadap Arus Bocor pada Resin Epoksi

Pada pengujian ini, Resin epoksi yang akan diuji adalah resin epoksi yang menggunakan *hardener* jenis *Methaphenylene–Diamine* (MPDA). Besar kadar *Hardener* yang akan dicampurkan pada resin epoksi adalah 30%, 40%, 50%, 60%, 70%. Seperti pada resin epoksi dengan *hardener Triethylemetetramine*, pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali, dengan sampel yang berbeda. Pada pengujian ini akan dibandingkan pengaruh kadar *hardener* dengan nilai arus bocornya pada setiap kenaikan tegangan uji. Tegangan yang dikenakan adalah 1-15 kV. Tabel 4.4 adalah hasil dari pengujian sampel yang pertama.

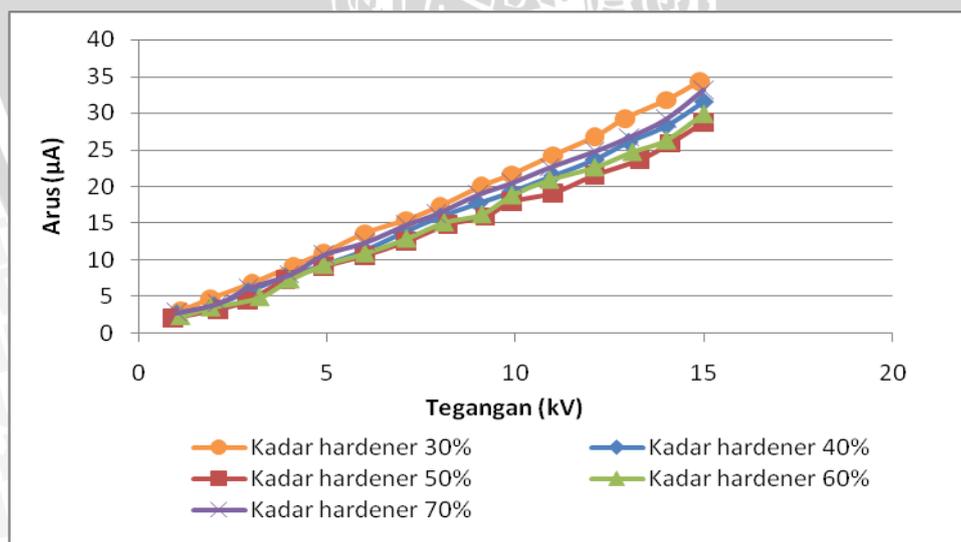
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Pengaruh Kadar *Hardener Methaphenylene–Diamine* (MPDA) pada Resin Epoksi Terhadap Tingkat Arus Bocor Isolasi (Sampel Pertama)

Kadar <i>Hardener</i> 30%		Kadar <i>Hardener</i> 40%		Kadar <i>Hardener</i> 50%		Kadar <i>Hardener</i> 60%		Kadar <i>Hardener</i> 70%	
E (kV)	I (μA)								
1.1	2.4	1	1.8	0.9	1.6	1.1	1.7	1	2
1.9	3.9	2	3.5	2.1	3.3	1.9	3.5	2.1	3.7
3	6.2	2.9	5.1	2.9	5	3.2	5.2	2.9	5.7
4.1	8.5	3.9	7	3.9	6.9	4	7	4	7.3

4.9	10.1	4.9	8.6	4.9	8.6	4.9	8.6	4.9	9
6	12.4	6	10.6	6	10.6	6	10.6	6	10.9
7.1	14.7	7	12.3	7.1	12.6	7.1	12.6	7.1	12
8	16.5	8	14.2	8.2	13.4	8.1	14.3	7.9	14.5
9.1	19	9	16.1	9.2	15.3	9.1	16.1	9	16.5
9.9	20.8	9.9	17.5	9.9	16.9	9.9	17.5	9.9	17.7
11	23.3	11	19.6	11	18.7	10.9	19.6	10.9	20.1
12.1	26.2	12.1	21.7	12.1	20.9	12.1	21.7	12.1	22
12.9	28.1	13	23.3	13.3	22.6	13.1	23.6	13	24
14	31.1	14	25.2	14.1	24.6	14	25.3	14	25.9
14.9	33.8	15	27.4	15	26.4	15	27.3	15	27.5

Sumber : Hasil pengujian

Tabel 4.4 adalah Hasil pengujian arus bocor pada resin epoksi menggunakan *hardener Methaphenylene-Diamine (MPDA)* dengan kadar yang berbeda-beda. Pada pengujian arus bocor ini menggunakan susunan elektroda bola-bola dengan penaikan tegangan uji dari 1 kV sampai 15 kV. Pengujian dilakukan pada rangkaian AC dengan tebal resin epoksi 5 mm. Karakteristik arus bocor dengan kenaikan step tegangan uji sebesar 1-15kV, seperti pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Arus Bocor Resin Epoksi dengan *Hardener Methaphenylene-Diamine (MPDA)* Sampel Pertama

Sumber : Hasil pengujian

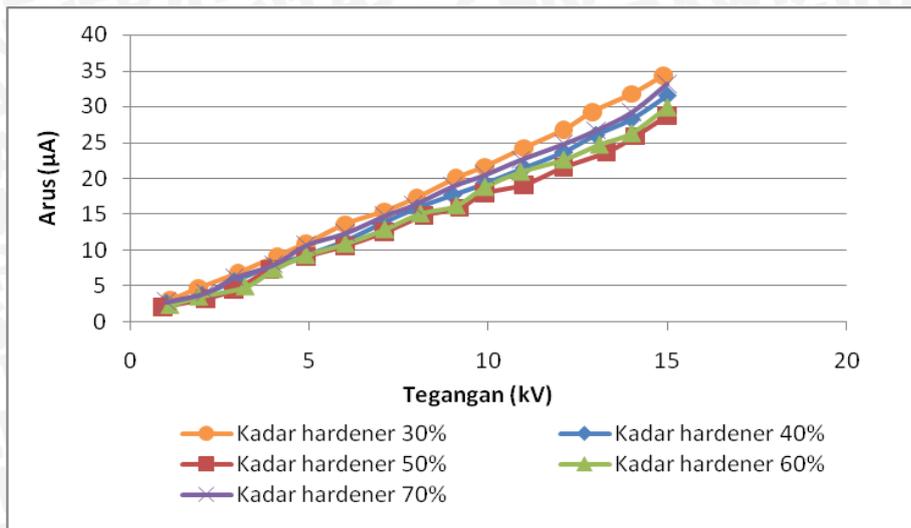
Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kenaikan tegangan 0-4 kV, dapat dilihat bahwa arus bocor pada masing-masing resin epoksi, memiliki nilai yang hampir sama, sedangkan pada kenaikan tegangan 5-15 kV nilai arus bocor pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 30% memiliki nilai arus bocor terbesar, dan nilai arus bocor terkecil terdapat pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 50%. Sedangkan Hasil pengujian pada sampel kedua dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Pengaruh Kadar *Hardener Methaphenylene–Diamine* (MPDA) pada Resin Epoksi Terhadap Tingkat Arus Bocor Isolasi (Sampel Kedua)

Kadar <i>Hardener</i> 30%		Kadar <i>Hardener</i> 40%		Kadar <i>Hardener</i> 50%		Kadar <i>Hardener</i> 60%		Kadar <i>Hardener</i> 70%	
E (kV)	I (μ A)								
1.1	3.1	1	2.7	0.9	2.1	1.1	2.3	1	2.8
1.9	4.8	2	3.8	2.1	3.3	1.9	3.5	2.1	4.1
3	6.9	2.9	5.7	2.9	4.5	3.2	4.9	2.9	6.2
4.1	9.3	3.9	7.7	3.9	7.3	4	7.3	4	8
4.9	11	4.9	9.3	4.9	9.1	4.9	9.3	4.9	10.7
6	13.7	6	11.3	6	10.6	6	10.9	6	12.4
7.1	15.5	7	13.7	7.1	12.5	7.1	12.9	7.1	14.8
8	17.4	8	15.9	8.2	14.8	8.1	15.1	7.9	16.3
9.1	20.1	9	17.7	9.2	15.9	9.1	16.2	9	18.9
9.9	21.7	9.9	19.3	9.9	17.9	9.9	18.8	9.9	20.5
11	24.3	11	21.5	11	19.1	10.9	20.9	10.9	22.6
12.1	26.8	12.1	23.7	12.1	21.5	12.1	22.6	12.1	24.8
12.9	29.3	13	26.1	13.3	23.6	13.1	24.7	13	26.7
14	31.8	14	28.3	14.1	25.8	14	26.3	14	29.2
14.9	34.4	15	31.6	15	28.7	15	29.9	15	33.2

Sumber : Hasil pengujian

Dari Tabel 4.5, maka dapat diperoleh grafik seperti pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik Arus Bocor Resin Epoksi dengan *Hardener Methaphenylene–Diamine* (MPDA) Sampel Kedua

Sumber : Hasil pengujian

Pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa kenaikan tegangan 0-5 kV, dapat dilihat bahwa arus bocor pada masing-masing resin epoksi, memiliki nilai yang hampir sama, sedangkan pada kenaikan tegangan 5-15 kV nilai arus bocor pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 30% memiliki nilai arus bocor terbesar, dan nilai arus bocor terkecil terdapat pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 50%. Dan untuk Hasil pengujian resin epoksi sampel ketiga dapat dilihat pada tabel 4.6

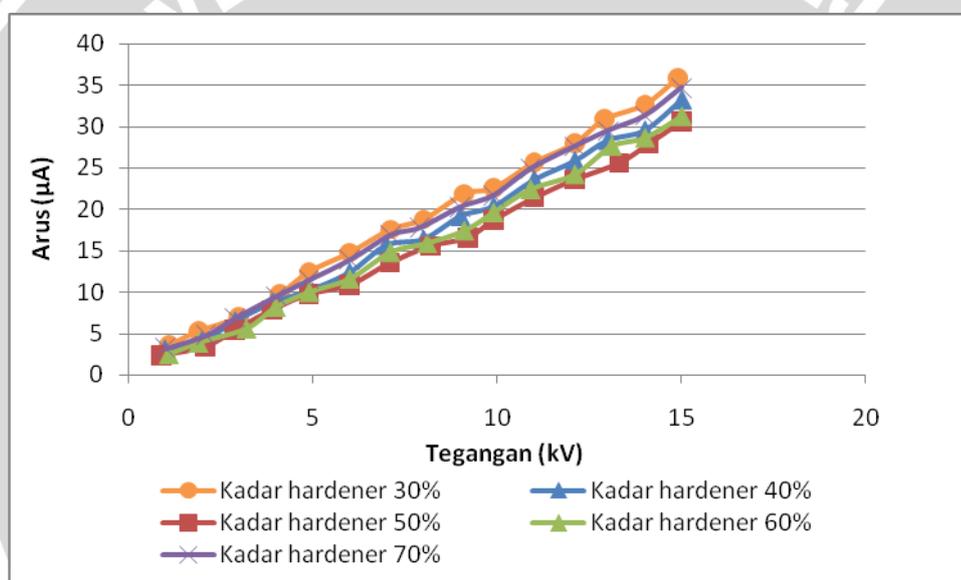
Tabel 4.6 Hasil pengujian Pengaruh Kadar *Hardener Methaphenylene–Diamine* (MPDA) pada Resin Epoksi Terhadap Tingkat Arus Bocor Isolasi (Sampel Ketiga)

Kadar Hardener 30%		Kadar Hardener 40%		Kadar Hardener 50%		Kadar Hardener 60%		Kadar Hardener 70%	
E (kV)	I (µA)								
1.1	3.6	1	3.1	0.9	2.4	1.1	2.5	1	3.2
1.9	5.3	2	4.1	2.1	3.5	1.9	3.9	2.1	4.8
3	7	2.9	6.5	2.9	5.5	3.2	5.6	2.9	6.9
4.1	9.8	3.9	8.7	3.9	7.9	4	8.2	4	9.5
4.9	12.5	4.9	10.2	4.9	9.8	4.9	10	4.9	11.5
6	14.8	6	12.4	6	10.9	6	11.6	6	13.9

7.1	17.6	7	15.7	7.1	13.6	7.1	14.8	7.1	16.9
8	18.8	8	16.4	8.2	15.6	8.1	15.9	7.9	17.8
9.1	21.9	9	19.2	9.2	16.6	9.1	17.4	9	20.3
9.9	22.6	9.9	20.4	9.9	18.7	9.9	19.6	9.9	21.7
11	25.7	11	23.6	11	21.4	10.9	22.4	10.9	24.9
12.1	28	12.1	25.9	12.1	23.6	12.1	24.2	12.1	27.6
12.9	30.9	13	28.4	13.3	25.6	13.1	27.6	13	29.5
14	32.7	14	29.6	14.1	27.9	14	28.6	14	31.3
14.9	35.9	15	33.3	15	30.6	15	31.2	15	34.7

Sumber : Hasil pengujian.

Dari Tabel 4.6, maka dapat digambarkan grafik seperti pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Grafik Arus Bocor Resin Epoksi dengan *Hardener Methaphenylene-Diamine* (MPDA) Sampel Ketiga

Sumber : Hasil pengujian

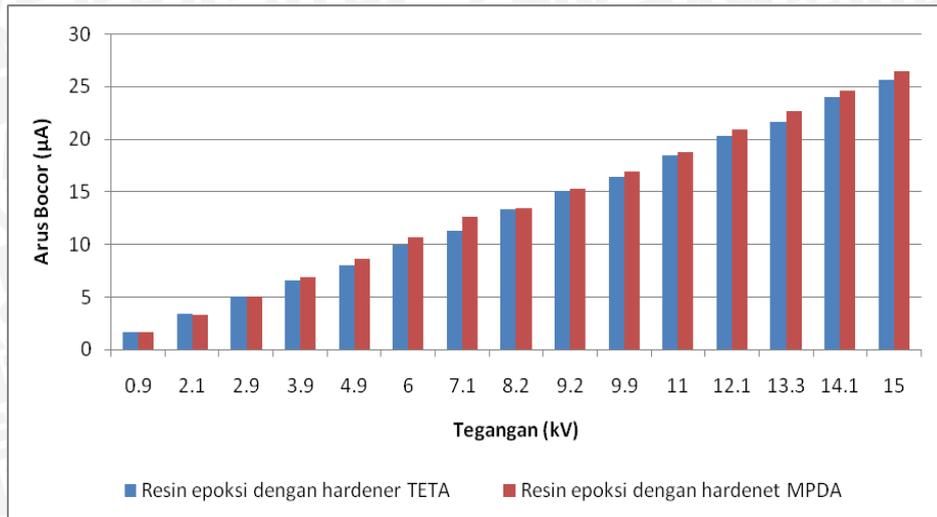
Pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa kenaikan tegangan 0-5 kV, dapat dilihat bahwa arus bocor pada masing-masing resin epoksi, memiliki nilai yang hampir sama, sedangkan pada kenaikan tegangan 6-15 kV terlihat bahwa nilai arus bocor pada masing-masing resin epoksi terdapat perbedaan, dimana nilai arus bocor pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 30% memiliki nilai arus bocor terbesar, dan nilai arus bocor terkecil terdapat pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 50%.

Dari ketiga sampel yang telah dilakukan pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa pada setiap kenaikan tegangan uji, resin epoksi dengan kadar *Hardener* 30% memiliki nilai arus bocor terbesar. Hal ini dikarenakan sedikitnya *hardener* yang dicampurkan pada resin epoksi, sehingga polimerisasi yang terjadi tidak sempurna dan mengakibatkan timbulnya banyak gelembung udara. Sedangkan yang memiliki nilai arus bocor terkecil pada setiap kenaikan tegangan terdapat pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 50%. Hal ini dikarenakan pada resin epoksi dengan *hardener* 50% terjadi polimerisasi sempurna sehingga gelembung udara yang timbul menjadi lebih sedikit.

Seperti yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya bahwa isolator yang bagus adalah isolator yang diberi tegangan uji, tidak menimbulkan arus bocor. Namun pada pengujian yang telah dilakukan, pada tegangan uji 1-15 kV yang dikenakan pada resin epoksi telah terukur arus bocor dalam orde mikro Ampere (μA), dan menurut PUIL 2000, arus bocor yang diperbolehkan adalah 30mA, dan arus listik yang dapat dirasakan manusia sebesar 0.9–1.2 mA, sehingga dapat disimpulkan bahwa resin epoksi dapat digunakan sebagai isolator sampai dengan tegangan uji 15 kV.

4.3.3 Perbandingan Arus Bocor Resin Epoksi dengan Jenis Hardener yang Berbeda

Pada pembahasan sebelumnya, didapat bahwa arus bocor dari resin epoksi yang memiliki nilai terkecil terdapat pada resin epoksi dengan kadar 50%. Gambar 4.9 adalah grafik perbandingan antara resin epoksi dengan kadar 5% jenis *Methaphenylene-Diamine* (MPDA) dengan *hardener* jenis *Triethylemetetramine* (TETA).



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Nilai Arus Bocor Resin Epoksi dengan Jenis Hardener yang berbeda

Sumber : Hasil pengujian

Dari Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa resin epoksi dengan Hardener jenis *Triethylemetetramine* (TETA) memiliki arus bocor yang lebih kecil dibandingkan resin epoksi dengan hardener *Methaphenylene-Diamine* (MPDA). Hal ini dikarenakan secara fisik resin epoksi dengan jenis *Triethylemetetramine* (TETA) memiliki gelembung udara lebih sedikit daripada dengan resin epoksi jenis *Methaphenylene-Diamine* (MPDA).

Pada resin epoksi dengan hardener jenis *Triethylemetetramine* (TETA) polimerisasi berlangsung secara sempurna. Pada saat resin epoksi tercampur dengan Hardener, kalor yang timbul mengangkat gelembung udara ke permukaan, sehingga pada padatan resin epoksi tersebut tidak terdapat gelembung udara yang dapat memperbesar arus bocor. Sedangkan pada resin epoksi dengan hardener jenis *Methaphenylene-Diamine* (MPDA) polimerisasi berlangsung sempurna hanya saja kalor yang timbul kurang mengangkat gelembung udara ke permukaan, sehingga pada padatan resin epoksi terdapat sedikit gelembung udara.

4.4 Pengaruh Jenis *Hardener* Terhadap Resistivitas dan Konduktivitas Pada Resin Epoksi

4.4.1 Resistivitas dan Konduktivitas Resin Epoksi dengan *Hardener Triethylemetetramine (TETA)*

Untuk mendapatkan besar nilai resistivitas dari Resin Epoksi, maka dilakukan dahulu pengujian arus bocor menggunakan tegangan searah (DC). Hasil dari pengujian dan perhitungan besar nilai tahanan dari resin epoksi menurut persamaan (2-24) dapat dilihat melalui Tabel 4.7.



Tabel 4.7 Hasil Pengujian Arus Bocor dan Nilai Tahanan pada Resin Epoksi dengan *Hardener Triethylemetetramine (TETA)*

Kadar Resin 40%				Kadar Resin 50%				Kadar Resin 60%				Kadar Resin 70%			
E (kV)	I (μ A)	R (Ω)	R Rata-rata (Ω)	E (kV)	I (μ A)	R (Ω)	R Rata-rata (Ω)	E (kV)	I (μ A)	R (Ω)	R Rata-rata (Ω)	E (kV)	I (μ A)	R (Ω)	R Rata-rata (Ω)
0.7	0.03	2.33E+10	2.233E+10	6.3	0.03	2.10E+11	1.3217E+11	6.4	0.05	1.28E+11	9.806E+10	2	0.03	6.67E+10	4.991E+10
0.9	0.04	2.25E+10		6.7	0.04	1.68E+11		6.9	0.06	1.15E+11		2.4	0.04	6.00E+10	
1.3	0.05	2.60E+10		7.7	0.05	1.54E+11		7.8	0.07	1.11E+11		2.7	0.05	5.40E+10	
1.6	0.07	2.29E+10		8	0.06	1.33E+11		8.1	0.08	1.01E+11		3.1	0.06	5.17E+10	
1.7	0.08	2.13E+10		8.6	0.07	1.23E+11		8.8	0.09	9.78E+10		3.5	0.07	5.00E+10	
2	0.09	2.22E+10		9.3	0.08	1.16E+11		9.3	0.1	9.30E+10		3.6	0.08	4.50E+10	
2.2	0.1	2.20E+10		10.1	0.09	1.12E+11		9.7	0.11	8.82E+10		4	0.09	4.44E+10	
2.6	0.12	2.17E+10		10.7	0.1	1.07E+11		10.2	0.12	8.50E+10		4.3	0.1	4.30E+10	
2.9	0.14	2.07E+10		11.2	0.11	1.02E+11		10.7	0.13	8.23E+10		4.6	0.11	4.18E+10	
3.1	0.15	2.07E+10		11.6	0.12	9.67E+10		11.1	0.14	7.93E+10		5.1	0.12	4.25E+10	

Sumber : Hasil pengujian

Dari Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa nilai resistansi terbesar adalah resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% yaitu sebesar 1.321,7 GΩ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai resistansi dari resin epoksi tersebut memenuhi syarat sebagai isolator yaitu harus memiliki nilai diatas 351 MΩ.

Dengan menggunakan nilai rata-rata tahanan dari Tabel 4.7, nilai resistivitas pada masing-masing resin epoksi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2-25). Nilai resistivitas pada tiap-tiap resin epoksi sebagai berikut :

a. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 40%

$$\rho = \frac{2.233 \times 10^{10} \times 3.14 \times (2.5 \times 10^{-3})^2}{2.5 \times 10^{-2}}$$

$$= 175290500 \Omega\text{m}$$

b. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 50%

$$\rho = \frac{1.3217 \times 10^{11} \times 3.14 \times (2.5 \times 10^{-3})^2}{2.5 \times 10^{-2}}$$

$$= 1037534500 \Omega\text{m}$$

c. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 60%

$$\rho = \frac{9.806 \times 10^{10} \times 3.14 \times (2.5 \times 10^{-3})^2}{2.5 \times 10^{-2}}$$

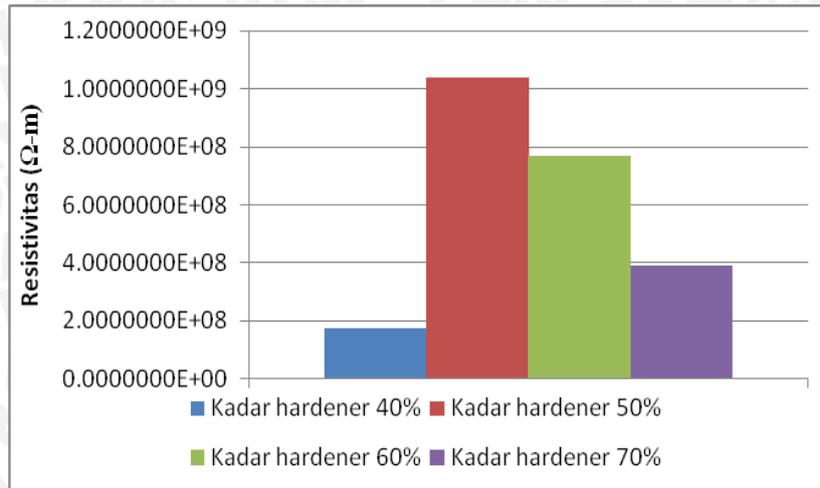
$$= 769771000 \Omega\text{m}$$

d. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 70%

$$\rho = \frac{4.991 \times 10^{10} \times 3.14 \times (2.5 \times 10^{-3})^2}{2.5 \times 10^{-2}}$$

$$= 391793500 \Omega\text{m}$$

Dari perhitungan diatas maka dapat diperoleh Gambar 4.10 yang merupakan grafik dari nilai resistivitas masing-masing kadar resin epoksi dengan *Hardener Triethylemetetramine (TETA)*.



Gambar 4.10 Grafik resistivitas Resin Epoksi dengan *Hardener Triethylmetetramine (TETA)*

Sumber : Hasil pengujian

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa resin epoksi dengan kadar 50% memiliki nilai resistivitas terbesar yaitu $1,0375345 \times 10^9 \Omega\text{-m}$. Sedangkan nilai resistivitas terkecil dimiliki oleh resin epoksi dengan kadar 40% yaitu $0,1752905 \times 10^9 \Omega\text{-m}$. Pada resin epoksi dengan kadar 40%, pada saat diberi tegangan uji DC sebesar 0.7kV, telah memiliki nilai arus bocor sebesar $0.03 \mu\text{A}$, sedangkan pada resin epoksi dengan kadar 50%, arus bocor sebesar $0.03 \mu\text{A}$ terjadi pada kenaikan tegangan 6.3kV. Dari besar resistivitas yang telah dihitung, dapat disimpulkan bahwa resin epoksi memenuhi syarat sebagai isolator yang baik yaitu memiliki nilai resistivitas $> 10^7 \Omega\text{-m}$.

Apabila nilai resistivitas telah diketahui, maka nilai konduktivitas bahan dari masing-masing kadar resin epoksi dapat dicari menggunakan persamaan (2-26). Nilai konduktivitas pada tiap-tiap resin epoksi sebagai berikut :

- a. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 40%

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{175290500} \\ &= 5 \times 10^{-9} (\Omega\text{m})^{-1} \end{aligned}$$

- b. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 50%

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{1037534500} \\ &= 9.638 \times 10^{-10} (\Omega\text{m})^{-1} \end{aligned}$$

c. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 60%

$$\sigma = \frac{1}{769771000}$$

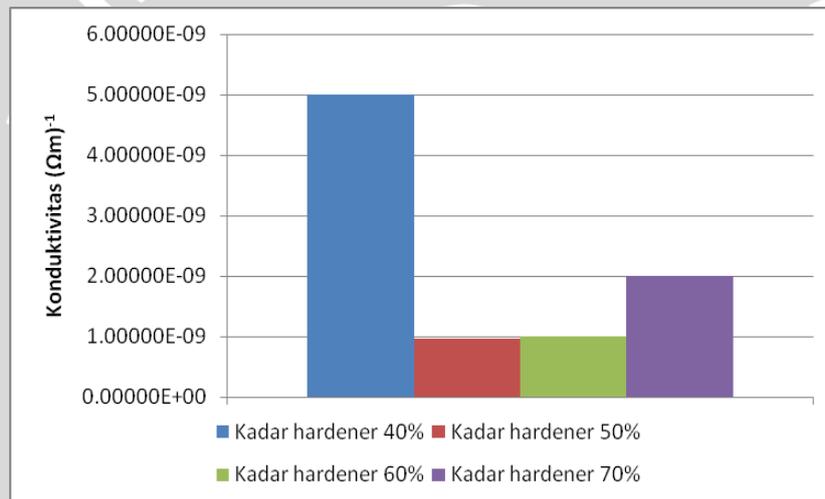
$$= 1 \times 10^{-9} (\Omega\text{m})^{-1}$$

d. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 70%

$$\sigma = \frac{1}{391793500}$$

$$= 2 \times 10^{-9} (\Omega\text{m})^{-1}$$

Dari perhitungan di atas, maka dapat grafik dari nilai konduktivitas dapat dilihat pada Gambar 4.11.



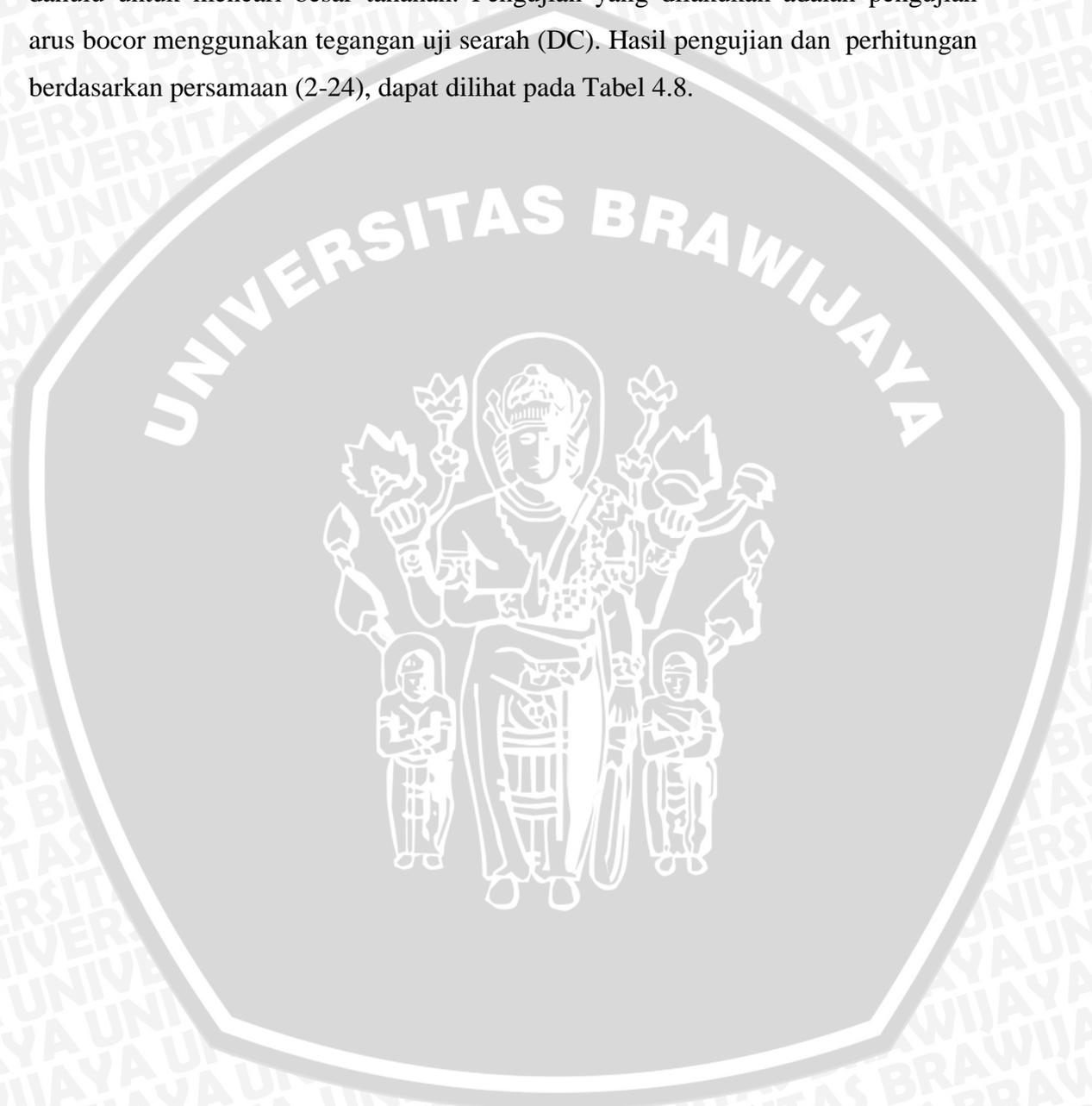
Gambar 4.11 Grafik Konduktivitas Resin Epoksi dengan *hardener* *Triethylemetetramine* (TETA)

Sumber : Hasil pengujian

Berdasarkan Gambar 4.11 diketahui bahwa resin epoksi dengan kadar 40% memiliki nilai konduktivitas terbesar yaitu $5 \times 10^{-9} (\Omega\text{m})^{-1}$, sedangkan resin epoksi dengan kadar 50% memiliki nilai konduktivitas terendah yaitu $9.638 \times 10^{-10} (\Omega\text{m})^{-1}$.

4.4.2 Resistivitas dan Konduktivitas Resin Epoksi dengan *Hardener Methaphenylene–Diamine (MPDA)*

Untuk mendapatkan besar resistivitas dari resin epoksi menggunakan *Hardener Methaphenylene–Diamine (MPDA)*, maka dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk mencari besar tahanan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian arus bocor menggunakan tegangan uji searah (DC). Hasil pengujian dan perhitungan berdasarkan persamaan (2-24), dapat dilihat pada Tabel 4.8.



Tabel 4.8 Hasil Pengujian Arus Bocor dan Nilai Tahanan pada Resin Epoksi dengan *Hardener* Jenis *Methaphenylene-Diamine* (MPDA)

Kadar <i>Hardener</i> 30%				Kadar <i>Hardener</i> 40%				Kadar <i>Hardener</i> 50%				Kadar <i>Hardener</i> 60%				Kadar <i>Hardener</i> 70%			
E (kV)	I (μ A)	R (Ω)	R Rata-rata (Ω)	E (kV)	I (μ A)	R (Ω)	R Rata-rata (Ω)	E (kV)	I (μ A)	R (Ω)	R Rata-rata (Ω)	E (kV)	I (μ A)	R (Ω)	R Rata-rata (Ω)	E (kV)	I (μ A)	R (Ω)	R Rata-rata (Ω)
1.7	0.34	5E+09	4.947E+9	2.2	0.23	9.57E+09	9.07E+9	6	0.03	2E+11	1.273E+11	3.10	0.02	1.55E+11	1.063E+11	2.90	0.05	5.8E+10	4.58E+10
2	0.39	5.13E+09		2.6	0.29	8.97E+09		6.9	0.04	1.73E+11		4.10	0.03	1.37E+11		3.60	0.07	5.14E+10	
2.2	0.44	5E+09		2.8	0.31	9.03E+09		7.7	0.05	1.54E+11		5.00	0.04	1.25E+11		3.90	0.08	4.88E+10	
2.4	0.49	4.9E+09		3.1	0.35	8.86E+09		7.9	0.06	1.32E+11		5.30	0.05	1.06E+11		4.30	0.09	4.78E+10	
2.6	0.53	4.91E+09		3.4	0.38	8.95E+09		8.6	0.07	1.23E+11		6.00	0.06	1E+11		4.50	0.10	4.5E+10	
2.9	0.58	5E+09		3.6	0.4	9E+09		8.8	0.08	1.1E+11		6.40	0.07	9.14E+10		4.90	0.11	4.45E+10	
3.1	0.63	4.92E+09		3.8	0.43	8.84E+09		9.3	0.09	1.03E+11		6.90	0.08	8.63E+10		5.20	0.12	4.33E+10	
3.3	0.66	5E+09		4	0.46	8.7E+09		9.7	0.1	9.7E+10		7.40	0.09	8.22E+10		5.50	0.13	4.23E+10	
3.6	0.74	4.86E+09		4.5	0.49	9.18E+09		10.2	0.11	9.27E+10		7.80	0.10	7.8E+10		5.90	0.15	3.93E+10	
3.9	0.82	4.76E+09		5	0.52	9.62E+09		10.7	0.12	8.92E+10		8.30	0.11	7.55E+10		6.40	0.17	3.76E+10	

Sumber : Hasil pengujian

Dari Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa nilai resistansi terbesar adalah resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% yaitu sebesar 1.1273 G Ω . Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai resistansi dari resin epoksi tersebut memenuhi syarat sebagai isolator yaitu harus memiliki nilai diatas 351 M Ω .

Dengan menggunakan nilai tahanan rata-rata pada Tabel 4.8, maka besar nilai resistivitas dapat dicari menggunakan persamaan (2-25). Nilai resistivitas pada tiap-tiap resin epoksi sebagai berikut :

- a. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 30%

$$\rho = \frac{4.947 \times 10^9 \times 3.14 \times (2.5 \times 10^{-3})^2}{2.5 \times 10^{-2}}$$

$$= 38833950 \Omega\text{m}$$

- b. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 40%

$$\rho = \frac{9.07 \times 10^9 \times 3.14 \times (2.5 \times 10^{-3})^2}{2.5 \times 10^{-2}}$$

$$= 71199500 \Omega\text{m}$$

- c. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 50%

$$\rho = \frac{1.273 \times 10^{11} \times 3.14 \times (2.5 \times 10^{-3})^2}{2.5 \times 10^{-2}}$$

$$= 999305000 \Omega\text{m}$$

- d. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 60%

$$\rho = \frac{1.063 \times 10^{11} \times 3.14 \times (2.5 \times 10^{-3})^2}{2.5 \times 10^{-2}}$$

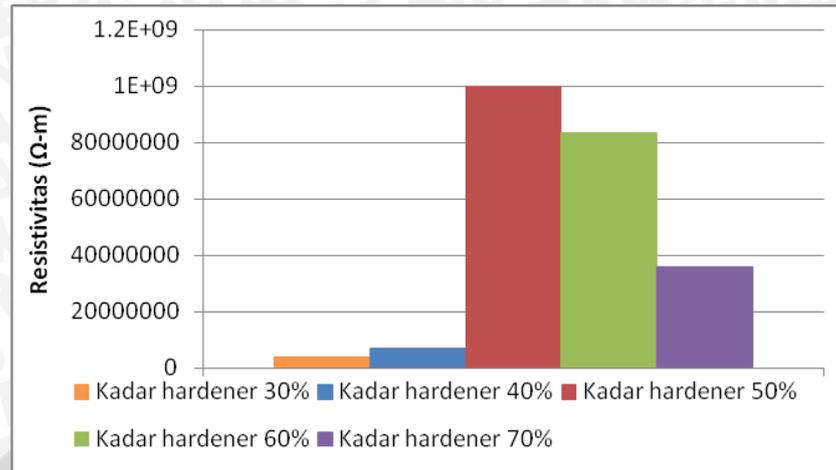
$$= 834455000 \Omega\text{m}$$

- e. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 70%

$$\rho = \frac{4.58 \times 10^{10} \times 3.14 \times (2.5 \times 10^{-3})^2}{2.5 \times 10^{-2}}$$

$$= 359530000 \Omega\text{m}$$

Dari perhitungan diatas maka dapat diperoleh Gambar 4.12 yang merupakan grafik dari nilai resistivitas masing-masing kadar resin epoksi dengan *Hardener Methaphenylene–Diamine* (MPDA)



Gambar 4.12 Grafik resistivitas Resin Epoksi dengan *Hardener Methaphenylene Diamine (MPDA)*

Sumber : Hasil pengujian

Pada Gambar 4.12 dapat diketahui bahwa resin epoksi dengan kadar 50% memiliki nilai resistivitas terbesar yaitu $999,305 \times 10^6 \Omega\text{-m}$, dan nilai resistivitas terkecil dimiliki oleh resin epoksi dengan kadar 30% yaitu $38,83395 \times 10^6 \Omega\text{-m}$. Hal ini karena resin epoksi dengan kadar 40%, pada saat diberi tegangan uji DC sebesar 0.7 kV, telah memiliki nilai arus bocor sebesar 0.03 μA , sedangkan pada resin epoksi dengan kadar 50%, arus bocor sebesar 0.03 μA terjadi pada kenaikan tegangan 6.3kV. Dari besar resistivitas yang telah dihitung, dapat disimpulkan bahwa resin epoksi memenuhi syarat sebagai isolator yang baik yaitu memiliki nilai resistivitas $> 10^7 \Omega\text{-m}$.

Apabila nilai resistivitas telah diketahui, maka besar konduktivitas dapat dihitung menggunakan persamaan (2-26). Nilai konduktivitas dari resin epoksi tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 30%

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{38833950} \\ &= 2,57507 \times 10^{-8} (\Omega\text{m})^{-1} \end{aligned}$$

- b. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 40%

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{71199500} \\ &= 1,4045 \times 10^{-8} (\Omega\text{m})^{-1} \end{aligned}$$

- c. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 50%

$$\sigma = \frac{1}{999305000}$$

$$= 1,0007 \times 10^{-8} (\Omega\text{m})^{-1}$$

- d. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 60%

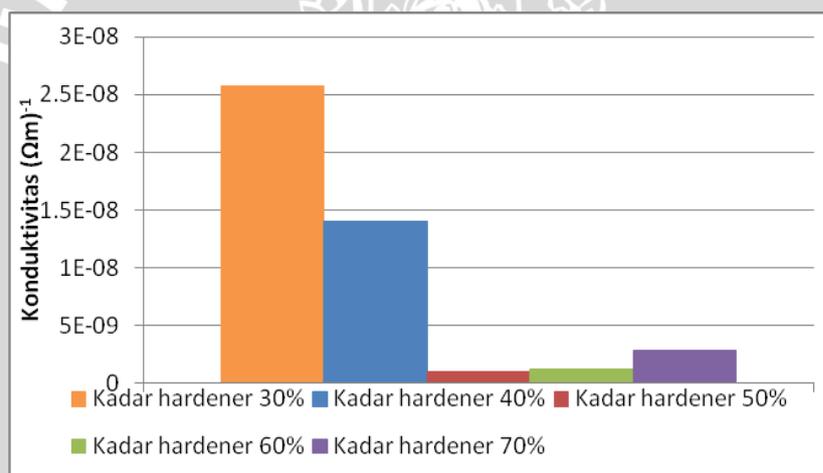
$$\sigma = \frac{1}{834455000}$$

$$= 1,19839 \times 10^{-9} (\Omega\text{m})^{-1}$$

- e. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 70%

$$\sigma = \frac{1}{359530000}$$

$$= 2,78141 \times 10^{-9} (\Omega\text{m})^{-1}$$



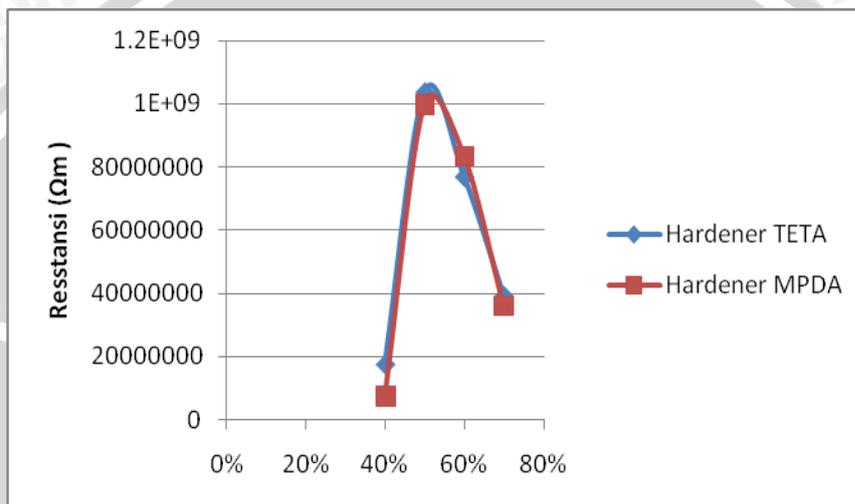
Gambar 4.13 Grafik Konduktivitas Resin Epoksi dengan *Hardener* *Methaphenylene-Diamine* (MPDA)

Sumber : Hasil pengujian

Berdasarkan Gambar 4.13, diketahui bahwa resin epoksi dengan kadar 30% memiliki nilai konduktivitas terbesar yaitu $2.5 \times 10^{-8} (\Omega\text{m})^{-1}$, sedangkan resin epoksi dengan kadar 50% memiliki nilai konduktivitas terendah yaitu $9.638 \times 10^{-9} (\Omega\text{m})^{-1}$.

4.4.3 Perbandingan Nilai Resistivitas dan Konduktivitas Resin Epoksi dengan Jenis *Hardener* yang Berbeda

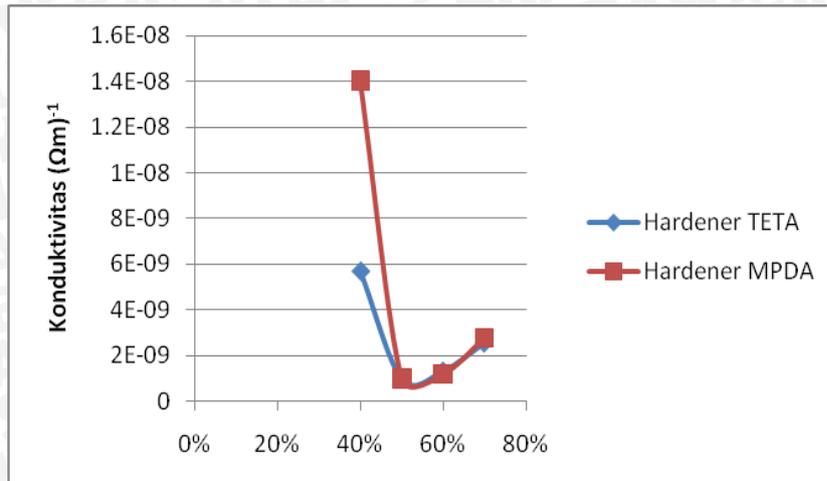
Pada sub bab sebelumnya dapat diketahui bahwa nilai resistivitas terbesar pada masing-masing jenis *hardener* terdapat pada resin epoksi dengan kadar *hardener* 50%. Pada Gambar 4.12 dapat dilihat grafik perbandingan dari resin epoksi dengan jenis *Hardener Triethylemetetramine* (TETA) dan jenis *hardener Methaphenylene–Diamine* (MPDA).



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Nilai Resistansi Resin Epoksi dengan Jenis *Hardener* yang Berbeda

Sumber : Hasil pengujian

Dari Gambar 4.14 dapat dilihat kesamaan kenaikan nilai resistansi pada resin epoksi. Pada Resin epoksi jenis *hardener Methaphenylene–Diamine* dengan kadar *hardener* 40% memiliki nilai resistansi yang terendah, sedangkan nilai tertinggi resistansi terdapat pada resin epoksi jenis *hardener Triethylemetetramine* dengan kadar *Hardener* 50%.



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Nilai Konduktivitas Resin Epoksi dengan Jenis Hardener yang Berbeda

Sumber : Hasil pengujian

Dari Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa garis grafik berkebalikan dengan grafik resistansi. Nilai terbesar konduktivitas dari resin epoksi terdapat pada resin epoksi jenis *hardener Methaphenylene-Diamine* dengan kadar *hardener* 40%, sedangkan nilai terkecil konduktivitas terdapat pada resin epoksi jenis *hardener Triethylemetetramine* dengan kadar *hardener* 50%.

4.5 Pengaruh Jenis *Hardener* Terhadap Permittivitas Pada Resin Epoksi

4.5.1 Permittivitas Resin Epoksi dengan *Hardener Triethylemetetramine* (TETA)

Untuk mendapatkan nilai permittivitas, maka harus diketahui nilai dari kapasitansi terlebih dahulu. Nilai kapasitansi tersebut didapat dari pengukuran. Tabel 4.9 adalah data kapasitansi dari berbagai resin epoksi dengan *hardener Triethylemetetramine*.

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Nilai Kapasitansi Resin Epoksi dengan *Hardener* *Triethylemetetramine* (TETA)

Kadar <i>Hardener</i>	Nilai Kapasitansi (nF)
40%	0.51
50%	0.54
60%	0.52
70%	0.49

Sumber : Hasil pengujian

Dari Tabel 4.9 maka dapat dihitung besar nilai permitivitas dengan menggunakan persamaan (2-6) sebagai berikut :

- a. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 40%

$$\varepsilon_r = \frac{51 \times 10^{-11} \times 36 \pi}{10^{-9}} \times \frac{5^{-3}}{\pi \times (5 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 3,672 \text{ F/m}$$

- b. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 50%

$$\varepsilon_r = \frac{54 \times 10^{-11} \times 36 \pi}{10^{-9}} \times \frac{5^{-3}}{\pi \times (5 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 3,888 \text{ F/m}$$

- c. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 60%

$$\varepsilon_r = \frac{52 \times 10^{-11} \times 36 \pi}{10^{-9}} \times \frac{5^{-3}}{\pi \times (5 \times 10^{-2})^2}$$

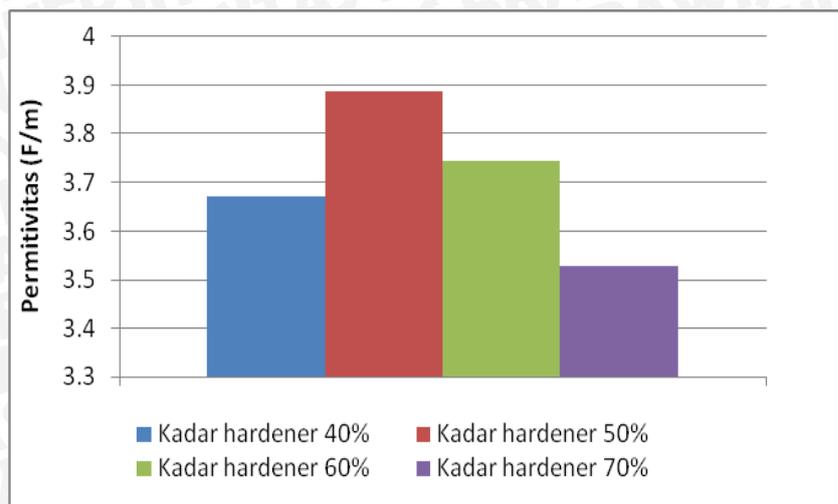
$$= 3,744 \text{ F/m}$$

- d. Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 70%

$$\varepsilon_r = \frac{49 \times 10^{-11} \times 36 \pi}{10^{-9}} \times \frac{5^{-3}}{\pi \times (5 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 3,528 \text{ F/m}$$

Dari perhitungan di atas, maka grafik dari nilai permitivitas dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik Konduktivitas Resin Epoksi dengan *Hardener Triethylemetetramine (TETA)*

Sumber : Hasil pengujian

Dari Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% memiliki nilai permitivitas tertinggi yaitu sebesar 3,888F/m. Hal ini sesuai dengan pengukuran nilai kapasitansi, dimana resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% memiliki nilai kapasitansi sebesar 0,55 μ F. Sedangkan nilai permitivitas dan kapasitansi terendah dimiliki oleh resin epoksi dengan kadar *hardener* 70% yaitu sebesar 3,528F/m dan 0,49 μ F. Berdasarkan persamaan (4-4), dapat diketahui bahwa besar nilai permitivitas berbanding lurus dengan nilai kapasitansi, pada tebal dan luas permukaan resin epoksi yang sama.

4.5.2 Permittivitas Resin Epoksi dengan *Hardener Methaphenylene–Diamine (MPDA)*

Untuk mendapatkan nilai permitivitas, maka harus diketahui nilai dari kapasitansi terlebih dahulu. Nilai kapasitansi tersebut didapat dari pengukuran. Tabel 4.10 adalah data kapasitansi dari berbagai resin epoksi dengan *hardener Methaphenylene–Diamine (MPDA)*.

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Nilai Kapasitansi Resin Epoksi dengan *Hardener Methaphenylene Diamine*

Kadar <i>Hardener</i>	Nilai Kapasitansi (nF)
30%	0.48
40%	0.49
50%	0.52
60%	0.51
70%	0.48

Sumber : Hasil pengujian

Dari Tabel 4.10 maka dapat dihitung besar nilai permitivitas dengan menggunakan persamaan (2-6) sebagai berikut :

- a. Resin epoksi dengan kadar *hardener* 30%

$$\varepsilon_r = \frac{48 \times 10^{-11} \times 36 \pi}{10^{-9}} \times \frac{5^{-3}}{\pi \times (5 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 3,456 \text{ F/m}$$

- b. Resin epoksi dengan kadar *hardener* 40%

$$\varepsilon_r = \frac{49 \times 10^{-11} \times 36 \pi}{10^{-9}} \times \frac{5^{-3}}{\pi \times (5 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 3,528 \text{ F/m}$$

- c. Resin epoksi dengan kadar *hardener* 50%

$$\varepsilon_r = \frac{52 \times 10^{-11} \times 36 \pi}{10^{-9}} \times \frac{5^{-3}}{\pi \times (5 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 3,744 \text{ F/m}$$

- d. Resin epoksi dengan kadar *hardener* 60%

$$\varepsilon_r = \frac{51 \times 10^{-11} \times 36 \pi}{10^{-9}} \times \frac{5^{-3}}{\pi \times (5 \times 10^{-2})^2}$$

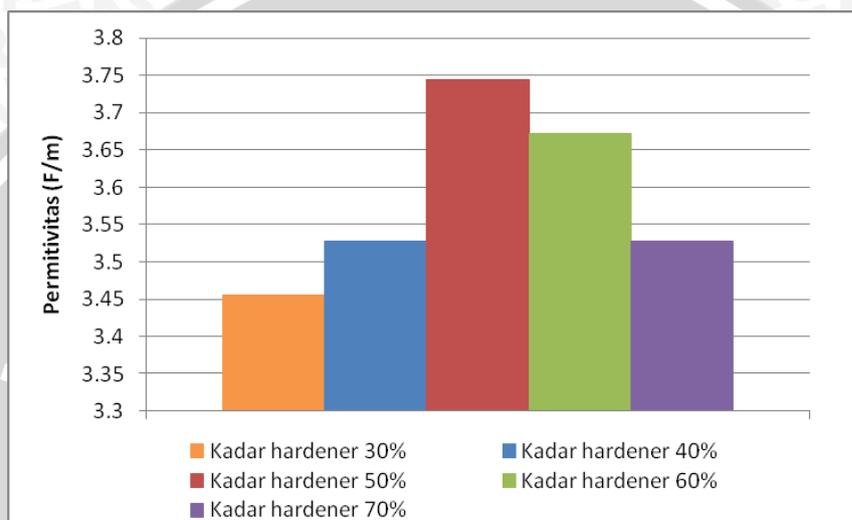
$$= 3,672 \text{ F/m}$$

e. Resin epoksi dengan kadar *hardener* 70%

$$\varepsilon_r = \frac{49 \times 10^{-11} \times 36 \pi}{10^{-9}} \times \frac{5^{-3}}{\pi \times (5 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 3,528\text{F/m}$$

Dari perhitungan di atas, maka grafik dari nilai permitivitas dapat dilihat pada Gambar 4.17.



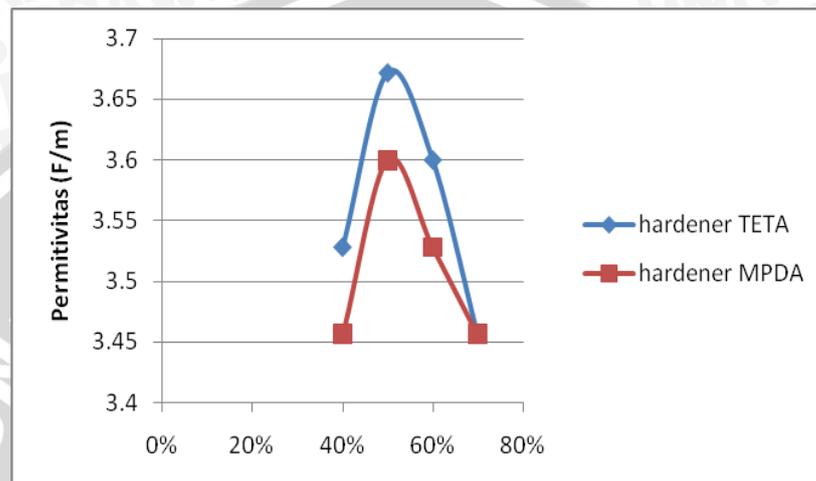
Gambar 4.17 Grafik Konduktivitas Resin Epoksi dengan *Hardener* *Methaphenylene–Diamine* (MPDA)

Sumber : Hasil pengujian

Dari Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% memiliki nilai permitivitas tertinggi yaitu sebesar 3,6F/m. Hal ini sesuai dengan pengukuran nilai kapasitansi, dimana resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% memiliki nilai kapasitansi tertinggi sebesar 0,5 μ F. Sedangkan nilai permitivitas dan kapasitansi terendah dimiliki oleh resin epoksi dengan kadar *hardener* 30% yaitu sebesar 3,384F/m dan 0.47 μ F. Berdasarkan persamaan (2-6), dapat diketahui bahwa besar nilai permitivitas berbanding lurus dengan nilai kapasitansi, pada tebal dan luas permukaan resin epoksi yang sama.

4.5.3 Perbandingan Nilai Permittivitas Resin Epoksi dengan Jenis *Hardener* yang Berbeda

Pada sub bab sebelumnya telah diketahui nilai dari permittivitas dari masing-masing jenis dan kadar *hardener* pada resin epoksi. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nilai Permittivitas Resin Epoksi dengan Jenis *Hardener* yang Berbeda

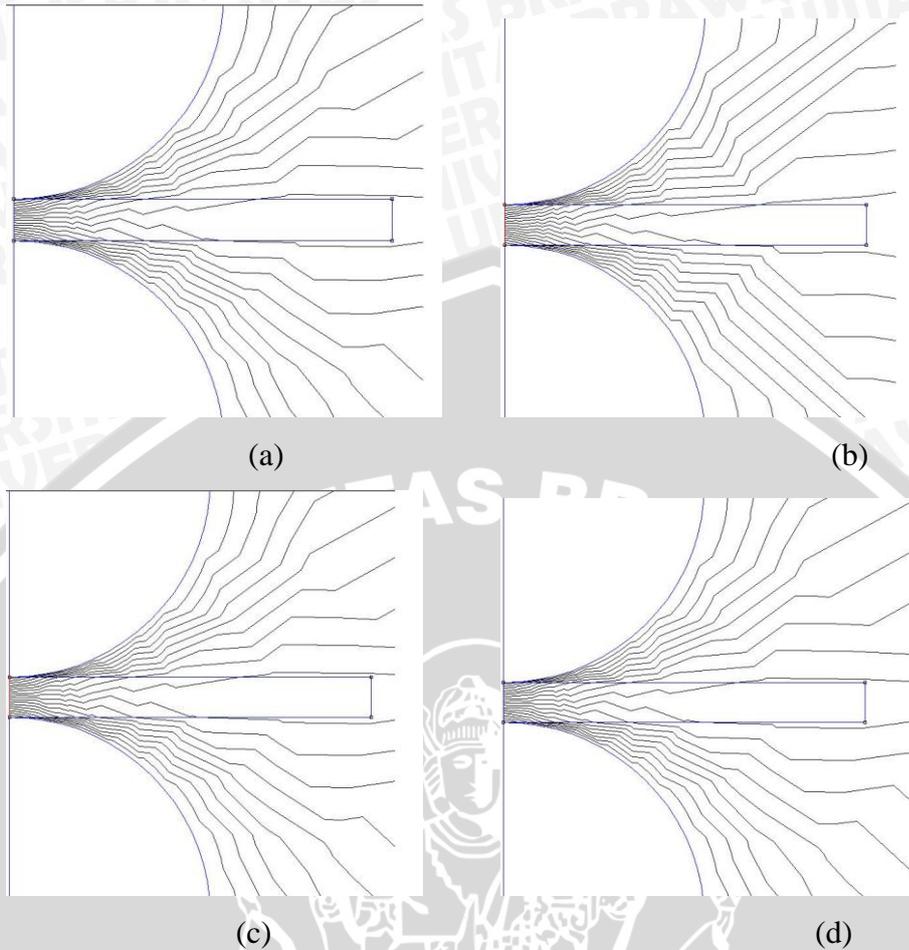
Sumber : Hasil pengujian

Dari Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa nilai permittivitas tertinggi terdapat pada resin epoksi jenis *hardener Triethylemetetramine*. Hal ini dikarenakan resin epoksi tersebut memiliki nilai kapasitansi yang paling besar, sesuai dengan persamaan (2-6) bahwa nilai kapasitansi berbanding lurus dengan nilai permittivitas.

4.6 Simulasi Distribusi Medan Listrik pada Resin Epoksi

4.6.1 Simulasi Distribusi Medan Listrik Pengujian pada Resin Epoksi dengan *Hardener Triethylemetetramine* (TETA)

Pada simulasi Femm 4.2, dapat diketahui garis ekuipotensial pada resin epoksi. Pada simulasi ini tegangan yang dikenakan sebesar 15 kV. Gambar 4.19 adalah gambar garis ekuipotensial pada resin epoksi dengan kadar *hardener* yang berbeda-beda.



Gambar 4.19 Gambar Garis Ekipotensial Resin Epoksi dengan Kadar *hardener* Berbeda

- (a) Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 40%
- (b) Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 50%
- (c) Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 60%
- (d) Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 70%

Sumber : Hasil Simulasi

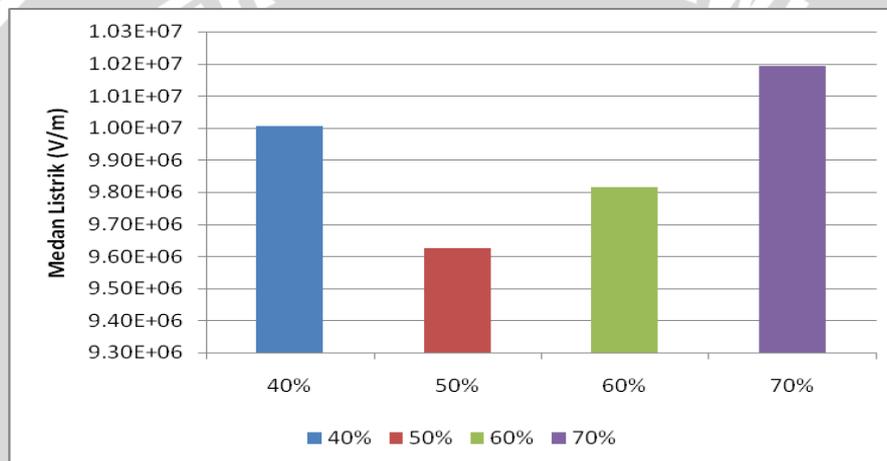
Dari Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa garis ekipotensial pada masing-masing kadar resin epoksi hampir terlihat sama, hal ini dikarenakan nilai permitivitas pada masing-masing kadar resin epoksi hampir sama. Sedangkan besar nilai medan listrik tertinggi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.11 Nilai Medan Listrik Tertinggi Resin Epoksi dengan *hardener* *Triethylemetetramine* (TETA)

Prosentase Kadar <i>Hardener</i>	Medan Listrik tertinggi (V/m)
40%	1.00053827×10^7
50%	9.62484913×10^6
60%	9.81545749×10^6
70%	1.01946214×10^7

Sumber : Hasil Simulasi

Dan grafik dari Tabel 4.11 dapat dilihat pada Gambar 4.20



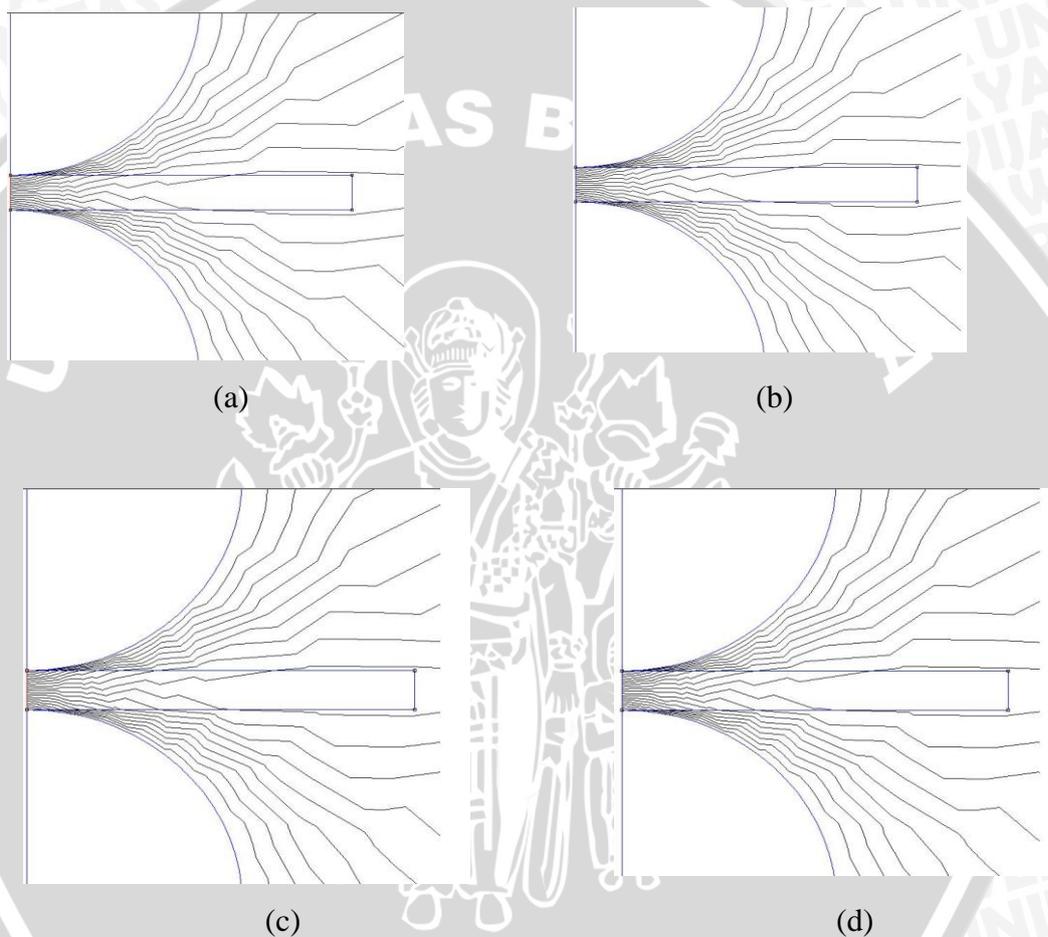
Gambar 4.20 Gambar Grafik Besar Medan Listrik Tertinggi pada Resin Epoksi dengan Kadar *hardener* yang Berbeda

Sumber : Hasil Simulasi

Dari Gambar 4.20 dapat dilihat bahwa resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% memiliki nilai medan listrik terendah dibandingkan resin epoksi dengan kadar *hardener* kurang dari 50% atau melebihi 50%. Hal ini dikarenakan resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% memiliki nilai permitivitas tertinggi. Pada suatu kerapatan fluks yang sama, maka semakin besar permitivitas bahan maka semakin kecil medan listrik.

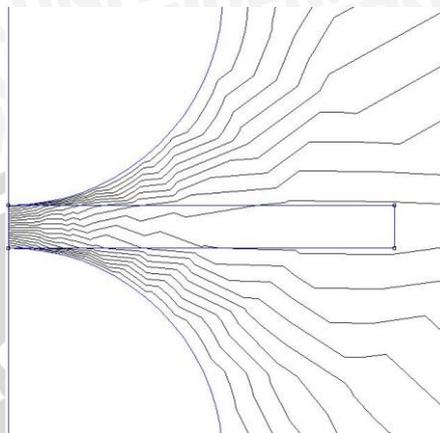
4.6.2 Simulasi Distribusi Medan Listrik Pengujian pada Resin Epoksi dengan *Hardener Methaphenylene–Diamine (MPDA)*

Pada simulasi femm 4.2, dapat diketahui garis ekipotensial pada resin epoksi. Pada simulasi ini tegangan yang dikenakan sebesar 15 kv. Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 adalah gambar garis ekipotensial pada resin epoksi dengan kadar *hardener* yang berbeda-beda.



Gambar 4.21 Gambar Garis Ekipotensial Resin Epoksi dengan Kadar *hardener* berbeda

- (a) Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 30%
- (b) Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 40%
- (c) Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 50%
- (d) Resin Epoksi dengan kadar *hardener* 60%



Gambar 4.22 Gambar Garis Ekipotensial Resin Epoksi dengan Kadar *hardener* 70%

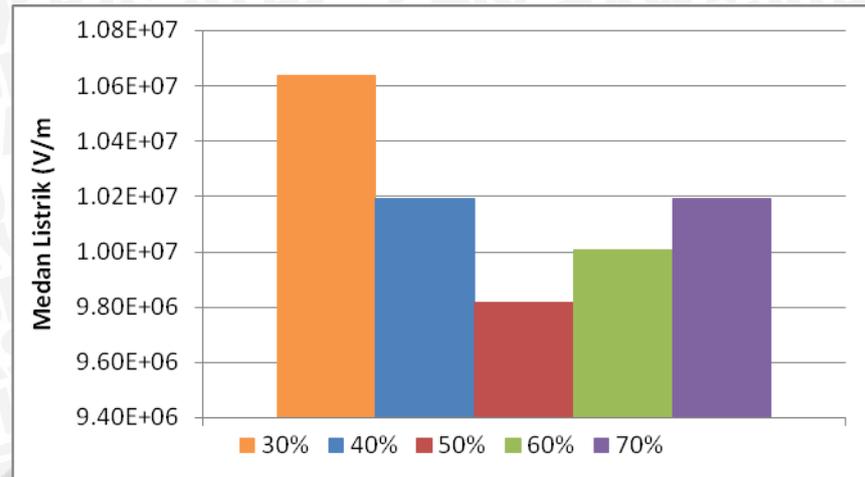
Sumber : Hasil Simulasi

Pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22, dapat dilihat persamaan alur grafik dari masing-masing kadar resin epoksi. Dimana besar medan listrik di dalam resin epoksi cenderung stabil, dan besar medan listrik yang tinggi terdapat pada permukaan resin epoksi. Sedangkan besar nilai medan listrik tertinggi dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Nilai Medan Listrik Tertinggi Resin Epoksi dengan *hardener* *Methaphenylene-Diamine* (MPDA)

Prosentase Kadar <i>Hardener</i>	Medan Listrik tertinggi (V/m)
30%	1.06360455×10^7
40%	1.01946214×10^7
50%	9.81545749×10^6
60%	1.00053827×10^7
70%	1.01946214×10^7

Sumber : Hasil Simulasi



Gambar 4.23 Gambar Grafik Besar Medan Listrik Tertinggi pada Resin Epoksi dengan Kadar *hardener* yang Berbeda

Sumber : Hasil Simulasi

Dari Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% memiliki nilai medan listrik terendah dibandingkan resin epoksi dengan kadar *hardener* kurang dari 50% atau melebihi 50%. Hal ini dikarenakan resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% memiliki nilai permitivitas tertinggi. Pada suatu kerapatan fluks yang sama, maka semakin besar permitivitas bahan maka semakin kecil medan listrik.

4.7 Pengaruh Jenis *Hardener* Terhadap Kuat Tekan Pada Resin Epoksi

Pada pembahasan ini, pengujian kuat tekan pada resin epoksi menggunakan alat pengukur gaya tekan. Resin epoksi yang digunakan sebagai bahan pengujian adalah resin epoksi dengan kadar *hardener* 50%. Hal ini dikarenakan secara fisik, resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% memiliki kekerasan yang paling bagus, dan juga berdasarkan sub bab sebelumnya, resin epoksi dengan kadar *hardener* 50% memiliki karakteristik elektrik yang paling bagus. Gambar 4.24 adalah rangkaian pengujian kuat tekan pada resin epoksi.



(a)



(b)

Gambar 4.24 Pengujian Kuat Tekan pada Resin Epoksi

(a) Resin Epoksi dengan Jenis *hardener* *Methaphenylene–Diamine* (MPDA)

(b) Resin Epoksi dengan Jenis *hardener* *Triethylemetetramine* (TETA)

Sumber : Hasil pengujian

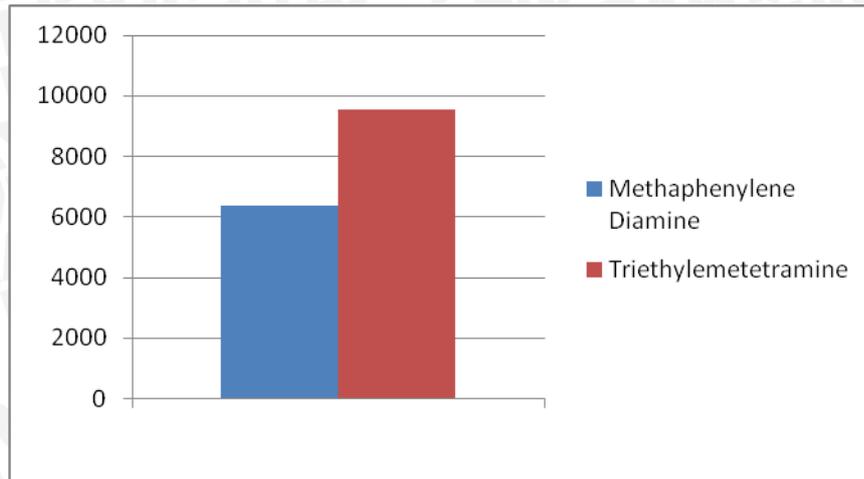
Pada percobaan ini besar luas permukaan masing-masing resin epoksi adalah $38,465\text{cm}^2$. Untuk pengujian resin epoksi dengan jenis *Hardener* *Methaphenylene–Diamine* (MPDA) besar gaya tekan maksimal adalah 245kN , maka berdasarkan persamaan 4-5 nilai kuat tekan dari resin epoksi adalah

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{F}{A} \\ \sigma &= \frac{245000}{38,465} \\ &= 6369,43\text{N/cm}^2\end{aligned}$$

Sedangkan untuk resin epoksi dengan jenis *Hardener* *Triethylemetetramine* (TETA), besar gaya tekan maksimal adalah 367kN , maka besar kuat tekan pada resin epoksi tersebut adalah

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{F}{A} \\ \sigma &= \frac{367000}{38,465} \\ &= 9541,14\text{N/cm}^2\end{aligned}$$

Dari kedua perhitungan di atas, maka dapat dibuat grafik sebagai berikut.



Gambar 4.24 Gambar Perbandingan Kuat Tekan Resin Epoksi dengan Jenis *Hardener* yang Berbeda.

Sumber : Hasil pengujian

Dari Gambar 4.24 disimpulkan bahwa resin epoksi dengan jenis *Hardener* *Triethylemetetramine* (TETA) memiliki nilai kuat tekan yang lebih besar dibandingkan resin epoksi dengan jenis *Hardener* *Methaphenylene–Diamine* (MPDA). Sehingga dapat disimpulkan bahwa resin epoksi dengan jenis *Hardener* *Triethylemetetramine* (TETA) memiliki karakteristik mekanik yang paling baik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari data hasil penelitian dan analisis pada tugas akhir ini, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan kandungan dan jenis *hardener* yang dicampurkan pada Resin Epoksi mempengaruhi karakteristik elektrik berupa :

- Arus bocor

Perbedaan kandungan dan jenis *hardener* yang dicampurkan pada Resin Epoksi mempengaruhi besar arus bocor. Nilai arus bocor terkecil terdapat pada Resin Epoksi dengan campuran *Hardener Triethylemetetramine* (TETA) dengan kandungan *hardener* 50%. Hal ini dikarenakan pada Resin Epoksi ini mengalami proses polimerisasi yang sempurna, sehingga memiliki sedikit gelembung udara, dan memiliki ruang bahan yang padat. Dari hasil pengujian juga didapatkan bahwa arus bocor yang mengalir pada setiap kenaikan tegangan uji yang dikenakan masih dalam batas μA , sehingga memenuhi syarat sebagai isolator, yaitu arus bocor harus kurang dari 30mA.

- Resistivitas, konduktivitas dan permitivitas

Perbedaan kandungan dan jenis *hardener* yang dicampurkan pada Resin Epoksi mempengaruhi karakteristik elektrik meliputi besar resistivitas, konduktivitas, dan permitivitas. Karakteristik elektrik yang paling baik sebagai isolator terdapat pada Resin Epoksi dengan campuran *hardener Triethylemetetramine* (TETA) dengan kandungan *hardener* 50%, yaitu memiliki nilai resistivitas tertinggi sebesar $1,03753545\text{G}\Omega\text{-m}$, dan memiliki nilai permitivitas tertinggi sebesar $3,888\text{ F/m}$. Dari hasil pengujian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa resin epoksi tersebut memenuhi standar sebagai isolator yaitu memiliki nilai resistivitas lebih dari $10^7\Omega\text{m}$ dan memiliki nilai permitivitas lebih dari 1 F/m .

- Medan Distribusi

Perbedaan kandungan dan jenis *hardener* yang dicampurkan pada Resin Epoksi mempengaruhi distribusi medan listrik. Pada suatu kerapatan fluks yang sama, maka semakin besar permitivitas bahan maka semakin kecil medan listrik. Sehingga besar medan listrik terendah terdapat pada Resin Epoksi dengan campuran *hardener Triethylemetetramine* (TETA) dengan kandungan *hardener* 50%.

2. Perbedaan kandungan dan jenis *hardener* yang dicampurkan pada Resin Epoksi mempengaruhi besar kuat tekan bahan. Nilai kuat tekan bahan terbesar terdapat pada Resin Epoksi dengan campuran *hardener Triethylemetetramine* (TETA) dengan kandungan *hardener* 50%. Karena pada Resin Epoksi ini memiliki kepadatan bahan yang paling besar, dan memiliki gelembung udara terkecil.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penyempurnaan penelitian ini adalah:

1. Perlunya pengujian lebih lanjut mengenai pengaruh medan tidak homogen pada resin epoksi dengan jenis dan kandungan *hardener* yang berbeda.
2. Perlunya pengujian lebih lanjut mengenai pengaruh kondisi eksternal pada resin epoksi terhadap tingkat arus bocor seperti kondisi adanya air dan debu.
3. Perlunya pengujian lebih lanjut mengenai karakteristik mekanik berupa pengaruh jenis dan kandungan *hardener* terhadap elastisitas Resin Epoksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A.1983. *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*, Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Abduh,S.2003. *Teori Kegagalan Isolasi*, Jakarta : Universitas Trisakti Press
- Dhofir, Moch. 1997. *Gejala Medan Tinggi*, Malang: Percetakan Unibraw
- Fifana, Nuril. 2006. *Simulasi ELCB Satu Fasa Sebagai Pelindung Tegangan Sentuh Bagi Manusia*, Universitas Diponegoro. <http://www.docstoc.com/docs/electrical-shock> (diakses 4 Januari 2012)
- Ir. Tata Surdia, M.S. Met. E dan Prof. Dr. Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Kind, Dieter. 1993. *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*, ITB Bandung.
- Muhaimin, 1999. *Bahan-bahan Listrik untuk Politeknik*, Jakarta : Pradnya Paramita.
- Naidu, MS. Kamaraju, 1995. *High Voltage Engineering*, New Delhi.
- SNI 04-0225-2000. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL)*, Jakarta.
- SNI 7323:2008. *Plastik - Wadah makanan dan minuman - Polystyrene foam*, Jakarta.
- Wa Ode Zulkaida, 2007. *Efek kontaminan pada bahan Isolasi Resin Epoksi*, Universitas Haluoleo.
- Vlack, Lawence H. Van, 2004. *Elemen – elemen Ilmu dan rekayasa Material*, Jakarta : Erlangga.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Triethylenetetramine> (diakses 14 Juni 2011)
- <http://en.wikipedia.org/wiki/M-Phenylenediamine> (diakses 14 Juni 2011)